



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

FACOLTA' DI AGRARIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E FORESTALI

DOTTORATO DI RICERCA IN: SISTEMI AGRO-AMBIENTALI

INDIRIZZO: TECNOLOGIE PER LA SOSTENIBILITÀ ED IL RISANAMENTO AMBIENTALE

CICLO XXV

TRIENNIO 2012-2014

SSD: AGR/13 – CHIMICA AGRARIA

**Utilizzo del biochar
come substrato alternativo
nella coltivazione di specie ornamentali in vaso**

TESI DI

Dr. Vincenzo Dispenza

TUTOR

Prof. Giuseppe Alonzo

CO-TUTOR

Dr. Claudio De Pasquale

**COORDINATORE DEL
DOTTORATO**

Prof. Sebastiano Calvo

Ringraziamenti

Desidero ringraziare alcune persone per il loro fondamentale contributo che ha reso possibile la progettazione, l'esecuzione e la stesura di questo lavoro di ricerca.

Primo fra tutti il Professore Giuseppe Alonzo, mio Tutore del Dottorato di Ricerca, che ha investito la sua conoscenza ed il suo tempo sull'intero lavoro svolto, consigliandomi e guidandomi costantemente.

Ringrazio il Dr. Claudio De Pasquale, per avermi trasmesso la metodologia di lavoro, la rapidità e la capacità di affrontare problematiche diverse.

Desidero ringraziare la famiglia Trapani, in particolare il Dr. Vincenzo Trapani (titolare dell'azienda: Trapani Pianta Ornamentali soc. coop. di Marsala) per il suo interesse e la sua ampia disponibilità (nelle idee e nei mezzi di produzione) nell'ospitare presso la sua azienda questa ricerca sperimentale.

Desidero, inoltre, ringraziare il Dr. Giancarlo Fascella (ricercatore presso il CRA di Bagheria), per lo sviluppo e la collaborazione di una parte della ricerca presso le strutture dell'unità di ricerca del CRA di Bagheria.

Un doveroso ringraziamento al Prof. Conte Pellegrino ed al Dr. Panno Michele, per il loro fondamentale aiuto nelle analisi di laboratorio.

Un ringraziamento speciale a Farid, Giulia, Anna, Rita, Melina e Valentina amici e colleghi di lavoro, per il loro aiuto, la loro disponibilità e pazienza.

Infine, tutto il mio amore e la mia gratitudine ai miei genitori, Carlo e Maria e a mio fratello Francesco per il loro incoraggiamento e sostegno nell'affrontare ostacoli e difficoltà, anche della vita quotidiana.

Indice

Capitolo 1 - Studio e ricerca bibliografica

1.1 - Cambiamenti climatici

1.2 - Ciclo del carbonio

1.3 - Il settore florovivaistico nel mondo

1.4 - Il florovivaismo in Italia: superfici e produzioni

1.5 - Il settore vivaistico italiano

1.6 - Il comparto florovivaistico siciliano

1.6.1 - Origine e diffusione del vivaismo agrumicolo ornamentale in Sicilia

1.7 - Le colture fuori suolo

1.8 - I substrati di coltivazione

1.8.1 - Inquadramento legislativo riguardante i substrati

1.8.2 - Caratteristiche chimico-fisiche dei substrati

1.8.3 - Granulometria

1.8.4 - Peso Specifico Apparente o Densità Apparente

1.8.5 - Porosità Totale

1.8.6 - Il pH

1.9 - Tecnologie per la sostenibilità ambientale: la fertirrigazione

1.9.1 - Fondamenti della nutrizione minerale in sistemi idroponici

1.9.2 - Composizione della soluzione nutritiva

1.9.3 - Bilancio dei nutrienti nella produzione di agrumi ornamentali in vaso

1.10 - Il biochar

1.10.1 - Origini del biochar

1.10.2 - Benefici del biochar

Capitolo 2 - Obiettivo della ricerca

Capitolo 3 - Materiali e metodi

3.1 - Utilizzo del biochar nella coltura in vaso della specie Euphorbia

3.2 - Specie Euphorbia

3.3 - Disegno sperimentale della prova

3.4 - Analisi chimico-fisiche della prova

3.4.1 - Analisi chimico-fisiche del biochar

3.4.2 - Analisi sulle matrici vegetali

3.4.3 - Analisi chimiche sull'assorbimento dei nutrienti

3.4.4 - Analisi statistica

3.5 - Risultati e discussione

3.5.1 - Caratteristiche chimico-fisiche dei substrati di coltivazione

3.5.2 - La crescita delle piante

3.5.3 - Assorbimento dei nutrienti

3.6 - Utilizzo del biochar nella coltura in vaso della specie Citrus limon

3.7 - Specie Citrus limon

3.8 - Disegno sperimentale della prova

3.9 - Analisi chimico-fisiche della prova

3.9.1 - Analisi chimico-fisiche del biochar

3.10 - Risultati e discussione

3.10.1 - Assorbimento dei nutrienti

3.11 - Conclusioni

Bibliografia

Tabelle

Figure

Capitolo 1: studio e ricerca bibliografica

1.1 - Cambiamenti climatici

Con la ratifica del Protocollo di Kyoto, il trattato internazionale siglato nel 1997 in occasione della Conferenza della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), i Paesi industrializzati aderenti si sono assunti l'obbligo di ridurre le emissioni di gas clima-alteranti (CO_2 , CH_4 , N_2O , e altri gas ad effetto serra) ad un livello inferiore del 5 % rispetto ai valori registrati nel 1990. Per raggiungere un obiettivo tanto ambizioso senza rinunciare al modello di sviluppo attuale è necessario affiancare a politiche e soluzioni volte alla riduzione delle emissioni, strategie concomitanti per il sequestro del carbonio presente in atmosfera e la sua stabilizzazione in “pozzi” (sink).

Fino a qualche anno fa si guardava al settore agricolo più che altro come ad un'ulteriore fonte di emissioni di gas serra. In effetti l'agricoltura convenzionale ha avuto un grande impatto sul global change, contribuendo al rilascio di anidride carbonica, metano e protossido di azoto. Solo in tempi recenti, gli studi sul suolo e sui suoi effetti sul ciclo del carbonio hanno mostrato che l'agricoltura può essere uno strumento potenzialmente cruciale per la lotta al cambiamento climatico. Gli ecosistemi agrari hanno infatti un'importante funzione di “carbon sink”, grazie alla loro capacità di assorbire e immagazzinare carbonio atmosferico nel suolo e nella vegetazione (biomassa). Rimuovendo anidride carbonica dall'atmosfera, neutralizzano parte delle emissioni di CO_2 legate alle attività umane e contribuiscono, in modo indiretto, al contenimento dei gas serra. Il Protocollo di Kyoto riconosce il contributo che può essere fornito dall'agricoltura e introduce la possibilità di contabilizzare l'incremento di carbonio nei terreni agricoli per il mantenimento degli impegni assunti dai vari paesi per la riduzione delle emissioni di gas serra. L'ambito di azione per l'agricoltura comprende: l'adozione di pratiche che favoriscono il sequestro di carbonio nella biomassa e nei suoli; riduzione delle emissioni di CO_2 e di altri gas serra; fornitura di biomassa per finalità energetiche in sostituzione alle fonti fossili.

Il carbonio organico del suolo costituisce circa due terzi del carbonio negli ecosistemi terrestri, e corrisponde a più del triplo di quello contenuto in atmosfera. La disponibilità di ampie superfici e il tempo di residenza relativamente lungo fanno di questo comparto un sink potenzialmente importante per lo stoccaggio del carbonio atmosferico.

Un metodo innovativo per aumentare la stabilità del carbonio stoccato nel suolo prende spunto dalla “Terra Preta do Indios”. L'espressione si riferisce a suoli particolarmente fertili della foresta amazzonica caratterizzati da colore nero, pH alcalino, elevata concentrazione

di nutrienti, alto contenuto in materiale carbonioso, altrimenti noto come “biochar” o carbone vegetale, prodotto dalla combustione incompleta di parti vegetali e introdotto volontariamente nel terreno dalle popolazioni locali migliaia di anni fa (Glaser et al., 2004; Falcão et al., 2003; Erikson et al., 2003). La carbonificazione di biomasse e l'interramento nei suoli agricoli del biochar così ottenuto rappresenta potenzialmente una tecnica per gestire i residui vegetali alternativa alla combustione (che produce immediatamente grosse quantità di CO_2), all'abbandono in superficie o all'interramento dei residui secchi, ma anche al compostaggio, da cui si origina humus stabile destinato però alla progressiva decomposizione nel giro di pochi anni. Per massimizzare le dimensioni dello stoccaggio in grado di immobilizzare rapidamente e permanentemente grosse quantità di anidride carbonica, è necessario utilizzare processi controllati che consentano di trasformare le biomasse in biochar con un alto rendimento. Le concentrazioni globali in atmosfera di anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4) e protossido di azoto (N_2O) sono notevolmente aumentate come risultato dell'attività umana dai valori pre-industriali: per esempio, la concentrazione di CO_2 è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 280 ppm ad un valore di 379 ppm nel 2005. La concentrazione atmosferica di CO_2 nel 2005 supera notevolmente il range naturale degli ultimi 650000 anni (da 180 a 300 ppm) come determinato dall'analisi delle carote di ghiaccio. Il tasso annuo di crescita della concentrazione di CO_2 negli ultimi dieci anni (media 1995-2005: 1.9 ppm all'anno) è stato il più alto da quando sono iniziate le misure dirette in continuo dell'atmosfera (media 1960-2005: 1.4 ppm all'anno), nonostante vi sia una variabilità da un anno all'altro nei tassi di crescita. L'aumento del contenuto di CO_2 in atmosfera è dovuto principalmente all'utilizzo di combustibili fossili; nonostante ciò, anche vari tipi di pratiche forestali ed agricole hanno un ruolo come la deforestazione, che porta all'ossidazione dell'humus del suolo forestale, l'agricoltura “taglia e brucia”, praticata nelle zone tropicali, il prosciugamento di zone umide (che accelera la decomposizione della sostanza organica) e l'utilizzo di torba per scopi agricoli. Inoltre anche gli incrementi di CH_4 ed N_2O sono dovuti principalmente all'agricoltura (IPCC, 2007).

1.2 - Ciclo del carbonio

Il ciclo del carbonio, comprendente un sotto sistema terrestre ed uno marino interagenti tra di loro, è l'insieme degli scambi di anidride carbonica ed altri composti del carbonio tra i vari sink. La CO_2 presente nell'aria viene organicata dalle piante tramite il processo fotosintetico: dove i composti carboniosi vengono consumati direttamente dalle piante durante la respirazione cellulare, parte viene utilizzata nelle catene alimentari degli animali,

parte dopo la morte della pianta, in maniera più o meno rapida, viene degradata dai microrganismi del terreno. In seguito a questi processi respirativi, si ha un rilascio di CO₂ in atmosfera, quindi l'anidride carbonica può essere assorbita nelle acque degli oceani sotto forma di bicarbonato ed essere stoccata anche in profondità. Sui fondali oceanici si accumulano, inoltre, sedimenti derivanti dalla decomposizione di organismi marini, gusci di calcite e aragonite, il cui ricircolo avviene in tempi molto lunghi. Alcuni di questi sedimenti, in determinate condizioni e in milioni di anni, possono originare giacimenti di petrolio, di carbone e di gas naturale, i quali, una volta estratti e utilizzati come combustibili per le attività umane, si trasformano nuovamente in CO₂ che ritorna in atmosfera chiudendo anche questo circolo. Le opzioni correntemente proposte per prevenire, minimizzare o contenere il cambiamento climatico richiedono la gestione del ciclo del carbonio e della concentrazione di CO₂ in atmosfera; ciò comprende sia la riduzione delle emissioni (limitando il consumo di combustibili fossili) che il miglior utilizzo degli stoccaggi, sequestrando il carbonio nella vegetazione, nel suolo e nel sottosuolo. Squilibri tra la quantità di carbonio in entrata e in uscita dai vari serbatoi determinano mutamenti anche negli altri scomparti del ciclo, evidenziando una certa resistenza del sistema. Circa metà delle attuali emissioni sono assorbite dagli ecosistemi terrestri e oceanici (Schimel et al., 1995), ma questi assorbimenti sono condizionati dal clima: l'aumento di temperatura causato dall'effetto serra diminuisce la solubilità della CO₂ negli strati superficiali degli oceani, con conseguente aumento dell'emissione di CO₂ in atmosfera e l'instaurarsi di pericolosi feedback positivi. Peraltro, secondo Zeebe et al. (2008) l'incremento della concentrazione di CO₂ atmosferica induce il passaggio in soluzione di una maggior quantità di gas negli oceani (secondo la legge di Henry), provocando l'acidificazione delle acque con gravi scompensi per gli ecosistemi.

1.3 - Il settore florovivaistico nel mondo

Il settore agricolo florovivaistico mondiale ha origini antichissime, ma soprattutto nel '900 si è particolarmente evoluto, condizionato dagli eventi politici e sociali e dalle mutate condizioni socio-culturali ed economiche globali: da esclusiva funzione architettonica ed ornamentale è oggi un settore agroindustriale trainante nelle economie di diversi paesi, fra tutti basti ricordare l'Olanda, il Kenia e la Thailandia.

Il florovivaismo è un comparto dell'agricoltura che ha delle specifiche peculiarità sotto l'aspetto colturale, determinate dalle esigenze pedoclimatiche delle specie interessate, per la straordinaria variabilità delle tipologie produttive, per le molteplici destinazioni finali del prodotto, atte a soddisfare esigenze molto diversificate e che danno origine a una domanda

di mercato internazionale straordinariamente complessa. Le piante del comparto florovivaistico comprendono oltre 2000 specie che appartengono a moltissime famiglie botaniche e possono essere annuali, biennali, poliennali, erbacee, arbustive o arboree, bulbose. Con la continua innovazione e ricerca ogni anno si aggiungono centinaia di nuove specie e si introducono nuovi ibridi.

La globalizzazione dei mercati, il progresso tecnologico, la ricerca applicata, il subentrare di nuove variabili economiche e sociali sono i fattori che nell'ultimo decennio sono stati in grado di influenzare le dinamiche dei mercati internazionali ed interni, esercitando il loro dirompente effetto propulsivo anche nel comparto florovivaistico mondiale.

Tali fenomeni hanno condizionato gli indirizzi produttivi, i metodi di produzione e i mercati di riferimento, con il risultato di renderlo protagonista di una straordinaria espansione, con un trend di sviluppo crescente a livello internazionale, europeo e nazionale. L'importanza di questo comparto agricolo è molto rilevante sotto l'aspetto economico e sociale per il numero di occupati, per le attività promosse e per i notevoli volumi di scambi che generano, e non meno per le risorse a cui possono accedere anche paesi del sud del mondo come è avvenuto per esempio per Kenia, Columbia e Thailandia.

Infatti a partire dagli inizi degli anni novanta il mercato mondiale ha registrato la comparsa di alcuni Paesi in via di sviluppo che hanno collocato le proprie rilevanti produzioni sui mercati dei Paesi industrializzati. Ciò è stato reso possibile dal fatto che potentissime lobby economiche hanno investito in quei paesi poveri, favoriti però dalle ottime condizioni dal punto di vista pedoclimatico, dai bassi costi della manodopera, nonché dalle politiche di sostegno del settore adottate dai governi locali.

La superficie mondiale complessiva destinata al comparto florovivaistico, secondo i dati di Coleacp (Associazione interprofessionale di esportatori, importatori e altri operatori del commercio florovivaistico tra la Comunità Europea e i paesi dell'Africa, Caraibi e Pacifico) e di Aiph (Associazione Internazionale dei Produttori del Florovivaismo) relativi all'anno 2001 è compresa tra i 260.000 e i 290.000 ettari, aggiungendo il vivaismo si arriva a 650.000 ettari complessivi, il 30% circa di questa superficie è sotto serra, il rimanente sotto ombraio o in pieno campo. Gli occupati nel settore sono circa 2.000.000 (fonte Coldiretti).

La distribuzione della superficie destinata al florovivaismo nel segmento produzione di fiori e fronde interessa tutti i Continenti ed in maniera particolare alcuni Paesi emergenti. Solo nel floricolo si distingue infatti l'Asia con quasi 160.000 ettari, con estensioni vastissime in Cina ed in India che sta vivendo una crescita ed un rapido sviluppo, mentre nel medio Oriente primeggia Israele che con soli 2.500 ha è molto importante sia in termini produttivi che di valore.

Seguono l'Europa, con circa 52.000 ha coltivati, l'America con quasi 46.000 ha, l'Africa con dimensioni meno importanti, ma con investimenti che continuano a crescere a ritmi sostenuti. Agli ultimi posti si posizionano la Nuova Zelanda con meno di 14.000 ha coltivati e l'Australia che ha destinato al florovivaismo una superficie inferiore ai 5.000 ha.

1.4 - Il florovivaismo in Italia: superfici e produzioni

L'Italia è al primo posto in Europa in termini di superficie di produzione per il florovivaismo ornamentale e al secondo posto, dopo l'Olanda, nel valore di questa produzione.

Nel 2003 la superficie totale italiana investita a fiori recisi è stata di 686.723 are per 4.417.738 pezzi, 302.567 are di fronde e foglie per 1.503.185 pezzi, mentre la produzione complessiva di piante da vaso per lo stesso anno è stata di 426.400.000 pezzi circa in serra e di 153.885.000 circa in pieno campo.

Dopo l'Olanda l'Italia è anche al secondo posto tra i Paesi esportatori dell'U.E, assieme a Danimarca e Belgio. La produzione in valore nel complesso è stata stimata nel 2003 in 2.557 milioni di euro con un incremento rispetto all'anno precedente del 3,4 % e rappresenta circa il 6 % del totale del valore della produzione agricola P.L.V. (fonte Ismea 2003).

Il segmento fiori e piante con i suoi 1.632 milioni di euro rappresenta quasi i 2/3 della produzione complessiva del comparto e segna nell'anno 2003 un incremento del 3 %.

In termini di valore le regioni maggiormente rappresentative a livello nazionale sono nell'ordine: Liguria, Campania, Sicilia, Lazio e Puglia.

Il settore vivaistico che incide per circa un terzo sulla produzione complessiva raggiunge i 925 milioni di euro registrando un aumento di 4 punti percentuali rispetto al 2002.

In termini di valore le regioni maggiormente rappresentative a livello nazionale sono nell'ordine: Toscana, Lombardia, Emilia Romagna Sicilia e Piemonte.

Secondo gli ultimi dati disponibili del Censimento Generale dell'Agricoltura del 2000 aggiornati al 28/06/05 il numero delle aziende censite è stato di 41.196 unità, il numero di addetti stimato per largo difetto è di 100.000 circa, mentre la superficie totale è stata di 35.000 ettari circa.

A fronte delle limitate dimensioni, mediamente inferiori ad 1 ettaro nel caso di quelle floricole e a circa 2 ha per quelle vivaistiche (per cui prevalgono le aziende caratterizzate da una struttura elementare, generalmente a gestione familiare), le aziende florovivaistiche sono però caratterizzate da elevati impieghi di capitale e di manodopera, da consistenti investimenti sostenuti da elevati valori della produzione, tali da far sì che il comparto sia

considerato relativamente “ricco”. Per le piante verdi e fiorite da interno, la tendenza attuale vede una minore richiesta di taglie grandi a favore delle piante più piccole, a prezzi inferiori, che rappresentano un buon mercato per le aziende ben attrezzate, orientate a questa produzione. La stessa tendenza più favorevole alle piccole taglie si registra per le piante da esterno da utilizzare anche per il verde privato e pubblico.

A differenza delle coltivazioni di fiori recisi e piante ornamentali da esterno, la produzione di piante in vaso da fogliame e da fiore è piuttosto recente, essendosi affermata intorno agli anni '50.

Con il passare degli anni il consumatore è diventato sempre più esigente ed attento ai propri consumi; se negli anni '60 l'acquisto floreale era considerato voluttuario, un articolo di lusso riservato ad una occasione speciale, con il passare del tempo le vendite sono nettamente aumentate. Già negli anni '80 prevaleva l'abitudine di acquistare piante per la decorazione della casa, del giardino e per il piacere personale. Lo sviluppo del mercato è stato poi influenzato dalla distribuzione, per cui la disponibilità di gran varietà di piante ornamentali e di continue novità non hanno fatto altro che stimolare gli acquisti.

Inoltre lo sviluppo della comunicazione di massa ha indotto l'opinione pubblica ad un ulteriore incremento dei consumi.

Negli anni '90 il mercato ha preso sempre più importanza in tutta Europa manifestando crescita costante. La recessione economica nella prima metà del 1992 ha velocizzato il passaggio da un consumo generalizzato ad uno intelligente e mirato, basato sulla qualità dei prodotti e dei servizi.

L'aumento dei consumi nel settore floricolo è da attribuire a diverse motivazioni, prima tra tutte l'incremento della disponibilità monetaria personale, ma anche la possibilità di reperire più facilmente piante in vaso e fiori, oggi prese in considerazione anche dalla grande distribuzione a prezzi generalmente bassi. Infine anche i prezzi contenuti alla vendita, a causa della concorrenza, hanno rappresentato un valido incentivo al consumo.

Si può pertanto rilevare dalle considerazioni effettuate fino a questo punto, come il settore delle piante in vaso rappresenti un punto di forza nell'ambito del florovivaismo, con una prevedibile ulteriore affermazione del comparto con incrementi dei consumi e delle vendite.

La principale conseguenza di tale fenomeno è l'incremento della domanda dei fattori stessi della produzione, primi fra tutti i substrati. Occorre, quindi, che l'offerta di tali materiali sia abbondante e a prezzi contenuti, onde evitare l'eccessiva lievitazione dei costi legati alla produzione, già soggetti ad aumenti dovuti ai consumi energetici.

Il mercato dei substrati è in grado di fornire oggi un'ampia gamma di prodotti, impiegati singoli o nella formazione di miscele, ma non tutti sono in grado di soddisfare a pieno le

esigenze dei floricoltori sotto il profilo qualitativo. La ricerca continua di possibili alternative è volta a garantire al produttore materiale dalle ottime caratteristiche chimiche e chimico-fisiche, nonché costi contenuti.

Bisogna anche considerare, a supporto di quanto precedentemente indicato, che le caratteristiche ottimali del substrato possono determinare una riduzione dei costi totali di produzione, grazie alla razionalizzazione di spese per concimazione ed irrigazione. Pertanto sono necessari continui sforzi di ricerca e miglioramento per fornire ai floricoltori gli strumenti ideali per ottimizzare la loro attività produttiva.

1.5 - Il settore vivaistico italiano

Il vivaismo in Italia occupa, sempre secondo i dati del V° Censimento aggiornati al 28/06/05, una superficie coltivata di 21.520 ha circa con 13.310 aziende. Le invidiabili condizioni pedoclimatiche del nostro paese consentono di ottenere produzioni molto diversificate e di pregio lungo l'intero arco dell'anno, in particolare per i fiori recisi, ma non meno per le produzioni vivaistiche, e favoriscono una specializzazione in determinate aree. Alcune aree produttive, infatti, sono famose nel mondo per il loro "know-how" come ad esempio il settore vivaistico di Pistoia, in grado di offrire un'alta e profonda gamma di prodotti di elevata qualità e tali da imporsi senza competitori anche sui mercati esteri.

Non è da sottovalutare anche la bellezza e la ricchezza varietale della flora mediterranea, su cui siamo leader nel mondo, particolarmente richiesta nei paesi emergenti del bacino mediterraneo, come la buona flessibilità delle aziende agricole alle innovazioni varietali e colturali; si aggiunge la possibilità di integrazione orizzontale per l'assortimento produttivo e la possibilità di integrare in modo verticale i servizi. La variazione della composizione dell'export del 1995 rispetto al 2003 ci fa vedere il peso che via via sta assumendo questo settore nel nostro paese.

Come possiamo vedere, il settore vivaistico risulta essere il più vivace in termini di crescita sia in valore che in volumi. Tra le ragioni che sono alla base di questo positivo fenomeno c'è in primo luogo la forte organizzazione delle vendite in Italia e all'estero delle aziende italiane, che negli ultimi vent'anni, se pur divise, hanno saputo fare squadra nel proporre un sistema di vendita molto diverso da quello praticato dalle formidabili organizzazioni dei produttori vivaistici del nord Europa, mediante le aste.

Per il settore del vivaismo ornamentale le aziende italiane, infatti, sono riuscite ad imporre la vendita per catalogo. La cosa è stata possibile con il determinante successo delle fiere di Milano e Padova, mentre questo sistema di vendita non ha ragione di esistere nel settore dei fiori, fronde e delle piante da appartamento, non è così invece per il settore vivaistico,

in particolare per le piante ad alto fusto in zolla e per le piante da giardino e terrazzo in vaso.

Le commesse, infatti, che vengono raccolte generalmente due volte all'anno, permettono sia al committente che all'azienda di programmare le produzioni e gli acquisti.

La rivoluzione produttiva degli anni '80, che ha visto l'introduzione dei vasi di plastica nel settore vivaistico, ha destagionalizzato le produzioni e le consegne e permesso di aprire una fase nuova del settore, di cui il vivaismo italiano è stato capace di cogliere l'opportunità ed è oggi in questo comparto il leader europeo.

Dagli anni '80 in poi il settore vivaistico italiano ha avuto uno sviluppo turbinoso, basti pensare al successo europeo di alcune manifestazioni fieristiche settoriali come il FLORMART di Padova o il Miflor di Milano, aperte ad oltre 1200 espositori e visitate da decine di migliaia di operatori da tutto il mondo.

Le esportazioni di piante da interno e da terrazzo si attestano intorno ai 190 milioni di euro segnando un incremento del 15 % in valore e dell'11 % in volume.

Le importazioni sono aumentate leggermente (2 % per un totale di 141,8 milioni di euro), ma con un incremento in volume da non sottovalutare (+8 %) che può significare una maggiore quota di prodotti di minor valore o un'attenta strategia degli esportatori stranieri sui prezzi.

1.6 - Il comparto florovivaistico siciliano

Il comparto florovivaistico rappresenta una punta avanzata dell'agricoltura siciliana, storicamente e fortemente radicata nel territorio regionale, le cui maggiori superfici investite trovandosi nei comuni che si affacciano sul mare beneficiano dello straordinario microclima della riviera, come quello in particolare di Catania, Messina, Trapani (PSR Sicilia).

Le produzioni vivaistiche siciliane, in particolare, pur essendo molto circoscritte territorialmente e concentrate relativamente su poche specie (Palmacee, Kenzie, Ciclamini, Fiori recisi, arbusti ornamentali, Olivi, Agrumi) risultano essere un punto di riferimento nazionale e internazionale per l'eccellenza qualitativa.

Tuttavia in questo settore persistono degli elementi fortemente competitivi, quali le pressioni dei forti competitori esteri, in primis Olanda e Germania, e fattori non prevedibili quali il clima e le precipitazioni che influenzano di molto l'andamento della filiera.

Il comparto florovivaistico in Sicilia, secondo i dati della Camera di Commercio, è costituito da 906 imprese, 87 % delle quali sono ditte individuali, interessando una superficie di oltre 2.500 ettari. L'analisi della distribuzione territoriale mostra che la maggior

quota (20,1 %) di superficie complessivamente investita nell'Isola si trova in provincia di Messina, seguono quelle di Catania (20,0 %), di Ragusa (19,9 %) e di Trapani (16,8 %).

Più in dettaglio, le superfici floricole insistono, in prevalenza, nelle province di Ragusa, Messina e Catania, mentre quelle vivaistiche sono concentrate nei territori del messinese, del catanese e del trapanese. Sul piano strutturale emerge l'eccessiva frammentazione delle aziende operanti nel comparto, la cui superficie media si attesta complessivamente su 0,90 ettari, mostrandosi più accentuata per le aziende floricole (0,79 ettari/azienda) rispetto a quelle vivaistiche (0,94 ettari/azienda) (Tab. 1).

Con riferimento alla produzione florovivaistica, i dati congiunturali ISTAT al 2005, mostrano come essa rappresenti il 16 % del prodotto nazionale. Quest'ultima risulta composta per il 93 % da fiori recisi e per poco più del 6 % da fronde e foglie, per un totale di 543 milioni di pezzi, che insistono su una superficie complessiva di poco più di 920 ettari.

L'analisi del comparto mostra, tra il 2000 ed il 2005, un'evoluzione strutturale dell'offerta florovivaistica siciliana, in linea con quella nazionale, che vede contrarsi del 9 % le superfici e del 2 % la produzione di fiori recisi, il cui allevamento continua ad essere prevalentemente effettuato in serra (quasi i tre quarti delle superfici investite a fiori recisi si trovano sotto serra). Per contro, nello stesso periodo, si osserva una crescita significativa (quasi 10 volte) delle superfici investite e della produzione (+2,5 volte) di fronde e foglie, coltivate soprattutto in piena aria (72 % del totale). Stesso trend mostra il segmento produttivo di fiori e piante intere da vaso, realizzate prevalentemente in serra (75 % del totale) che, al 2005, ha superato i 48 milioni di pezzi, con una crescita del 44% rispetto al 2000. Più in dettaglio, in tale segmento, l'incremento (+3 %) è dovuto alla produzione di piante da vaso da esterno, allevate in piena aria, a discapito di quelle prodotte in serra (PSR Sicilia 2007-2013).

1.6.1 - Origine e diffusione del vivaismo agrumicolo ornamentale in Sicilia

La nascita del vivaismo agrumicolo ornamentale in Sicilia coincide con la crisi del mercato degli agrumi intorno agli anni '80. I vivaisti siciliani, ed in particolare quelli del messinese, dovettero fronteggiare il ridimensionamento della domanda di piante di agrumi da impianto, che avrebbe avuto evidenti ripercussioni sull'economia del territorio, individuando nuovi indirizzi produttivi tra i quali quello rivolto alla produzione di piante di agrumi ornamentali. Negli anni successivi, peraltro, si è registrata, da un lato, una domanda crescente di piante ornamentali e, dall'altro, una ulteriore perdita di importanza del vivaismo agrumicolo tradizionale. Seguire l'evoluzione del mercato delle piante di agrumi ornamentali non è cosa semplice, tenuto conto che non si dispone di fonti statistiche ufficiali in grado di fornire dati relativi agli aspetti produttivi e commerciali.

Pur tuttavia, dall'esame dei pochi studi effettuati in passato si rileva, relativamente all'ultimo decennio, una significativa crescita degli investimenti ad agrumi ornamentali in Sicilia ed in particolare nella Provincia di Messina. Per l'accertamento degli attuali aspetti strutturali, produttivi e commerciali del vivaismo agrumicolo siciliano, in mancanza, come già evidenziato, di dati statistici ufficiali, è stata svolta una indagine attraverso interviste dirette ad interlocutori privilegiati sia pubblici (IPA, Camera di Commercio, Condotte Agrarie) che privati (tecnici ed agronomi, etc.) con riferimento all'anno 2006. Secondo i rilievi effettuati la superficie vivaistica destinata alla produzione di agrumi ornamentali in vaso si aggira intorno a 265 ettari, localizzati per la maggior parte nel messinese (circa 250 ha) e la restante suddivisa tra le province di CT, TP e SR.

Il florovivaismo rappresenta uno dei comparti più importanti, in termini economici, dell'agricoltura siciliana; in molte aree costiere dell'isola, peraltro, il comparto florovivaistico, con riferimento soprattutto al sub-comparto delle piante ornamentali (ficus, kentia, agrumi, etc.) presenta notevoli possibilità di espansione in alternativa ad alcune delle specie ortofrutticole attualmente coltivate.

Nell'ambito delle piante ornamentali, nell'ultimo ventennio si è registrato tra gli altri un crescente interesse commerciale verso gli agrumi in vaso, in relazione al fatto che la maggior parte delle specie del genere *Citrus* e affini presentano determinati caratteri morfologici e produttivi particolarmente rispondenti all'utilizzo ornamentale (quali ad esempio la non caducità invernale delle foglie e la rifiorescenza); queste piante vanno diffondendosi sempre più a livello amatoriale negli orti, nei giardini, sino a raggiungere anche gli appartamenti cittadini (E. Schimmenti, C.P. Di Franco, A. Galati, S.A. Martinello; 2007).

Tra le specie di *Citrus*, il limone è quella che riunisce la maggior parte dei caratteri di pregio e, infatti, occupa una posizione preminente nell'ambito della produzione vivaistica siciliana

e nazionale (Calabrese e De Michele, 1995; Recupero et al., 2000), costituendo circa il 40-50 % del totale.

La varietà Lunario, scarsamente usata nelle piantagioni industriali, per la forma allungata del frutto e la bassa succosità, risponde invece bene alle esigenze del vivaismo ornamentale (precoce fruttificazione, rifioritura, lunga persistenza del frutto, fogliame rigoglioso).

1.7 - Le colture fuori suolo

Nelle colture fuori suolo sono comprese tutte quelle tecniche di coltivazione che sono attuate in assenza del comune terreno agrario e nelle quali il rifornimento alle piante, di acqua e di elementi nutritivi, avviene generalmente attraverso la somministrazione di una soluzione nutritiva completa di macro- e micro-nutrienti. In alcuni casi la fertilizzazione delle colture è basata su una concimazione di fondo, realizzata attraverso l'aggiunta al substrato di concimi a lenta cessione.

Le colture fuori suolo o idroponiche (dal greco hydros, acqua, e ponos, lavoro) si possono suddividere in due gruppi: le colture in soluzione nutritiva a radice nuda (senza substrato) e quelle in contenitore su substrato, naturale o artificiale.

Per quanto riguarda i substrati si è assistito, specie negli ultimi anni, all'introduzione di molti materiali diversi, ognuno con i suoi pregi e i suoi difetti. In realtà, il substrato ideale, con le caratteristiche fisico-chimiche ottimali (una buona capacità per l'acqua e per l'aria, una struttura stabile nel tempo ecc.), economico e facilmente riciclabile non esiste, o perlomeno non è stato ancora trovato (Malorgio).

In base al mezzo di coltura utilizzato, le tecniche di coltivazione fuori suolo possono essere distinte in:

- coltivazioni su "mezzo solido" (substrato);
- coltivazioni su "mezzo fluido".

Le prime sono quelle basate sull'uso di substrati naturali o artificiali (perlite, lana di roccia, ecc.) con impianti di micro-irrigazione o subirrigazione, mentre le seconde sono effettuate in canalette senza substrato con ricircolo della soluzione nutritiva (Nutrient Film Technique, Floating, Aero-(Idro)-ponica, ecc.).

Nel caso delle coltivazioni su substrato, determinante ai fini della gestione della nutrizione idrica e nutritiva è la scelta del substrato per le implicazioni tecniche, economiche e di eco-compatibilità che essa comporta (F. Malorgio).

1.8 - I substrati di coltivazione

Da molti anni nel vivaismo ortofloricolo dalla tradizionale coltivazione in campo per molte specie vivaistiche si è preferito passare alla coltivazione in contenitore nata da questioni di ordine tecnico e organizzativo. Nella coltivazione in vaso di specie orticole nella fase di semenzale e floricole condotte in assenza del comune terreno agrario, grande importanza assumono i substrati di coltivazione e le esigenze idriche e nutrizionali delle piante vengono soddisfatte con la distribuzione diversificata di soluzioni acquose contenenti macroelementi e microelementi (Perelli et al., 2009). Questo tipo di coltivazione in contenitore specialmente per le specie erbacee da fiore permette un'elevata densità colturale, la possibilità di movimentazione delle piante, l'uniformità fenologica e ritmi di crescita accelerati e la riduzione delle limitazioni fisiche, chimiche e biologiche del suolo.

Tuttavia talvolta le colture presentano uno squilibrio nel rapporto chioma-radici e un aumento del fabbisogno in acqua, aria, e nutrienti, problematiche da prendere in considerazione nella scelta del substrato, che ha un ruolo essenziale nella buona riuscita della coltura (Riva et al., 2008). Il sistema radicale di una pianta quindi è ospitato in un contenitore con un substrato artificiale composto da varie componenti organiche e inorganiche allo scopo di assicurare le proprietà chimiche e fisiche richieste dalle colture e dalle condizioni di allevamento (Bunt, 1988; Nelson, 2003). Il ruolo dell'Italia nella produzione di substrati di coltivazione ha raggiunto negli ultimi anni livelli tali da poter presupporre ormai una collocazione, per il nostro paese, fra i maggiori produttori a livello europeo. Infatti, la tecnica della coltivazione su substrato, assai diversificata per settori, è una realtà ormai consolidata, con una estensione delle zone di produzione floricole ed orticole in continua espansione. La torba risulta essere il substrato più richiesto da coloro che operano nel settore del vivaismo. In Italia, a partire dagli anni '60, con il forte sviluppo del settore, il fabbisogno di torba ha superato i 3 milioni di metri cubi, soddisfatti quasi interamente con prodotto importato. L'intenso sfruttamento delle torbiere ha indotto un progressivo esaurimento delle fonti di approvvigionamento non rinnovabili; l'ingresso sul mercato, negli ultimi anni, di torbe estratte da siti ancora non sfruttati situati nei paesi baltici e le limitazioni all'estrazione in alcune nazioni del nord-centro Europa per problemi ambientali, hanno portato diminuzione della qualità ed incremento del prezzo del prodotto. La lenta rinnovabilità di questa risorsa ha portato alla necessità di limitare i danni derivanti dall'estrazione e alla formulazione di substrati "peat free".

La coltura in vaso si caratterizza per l'impiego di contenitori di varia forma e dimensione, e di un substrato artificiale, spesso preparato con materiali di varia natura, organica o minerale che condiziona il risultato della coltura.

L'industria dei substrati di coltivazione deve affrontare nuove sfide che riguardano, da un lato, una sempre maggiore automazione delle operazioni colturali, dall'altro una restrizione di uso della torba accanto ad una sempre maggiore disponibilità di nuovi materiali organici quali scarti dell'industria del legno o compost di differente origine. Le nuove formulazioni di substrati devono tener conto di questi fattori e, poiché le proprietà chimiche, fisiche e microbiologiche di un substrato sono influenzate da tutte le materie prime che lo costituiscono, è importante disporre di componenti di cui sono note le proprietà, in modo da poter essere aggiunti nelle proporzioni ottimali.

La scelta del substrato deve essere effettuata sulla base della valutazione di una serie di caratteristiche:

- la massa volumica apparente;
- la durata nel ciclo e nel tempo;
- la possibilità di riciclaggio;
- la reperibilità costante in loco;
- il costo per unità di superficie coltivata (valutando il diverso volume necessario variabile a seconda del sistema);
- la costituzione che deve garantire un sufficiente ancoraggio da parte della pianta;
- la struttura che deve essere caratterizzata da una più accentuata porosità rispetto al normale terreno agricolo e una buona capacità di ritenzione idrica. La struttura deve, inoltre, mantenersi stabile nel tempo e resistere al compattamento ed alla riduzione di volume in fase di disidratazione che potrebbe causare la rottura delle radici.

Relativamente alle specie floricole numerose esperienze sono state condotte anche in Italia per la verifica della possibilità di utilizzazione dei substrati più diversi: argilla espansa, perlite, pomice, pietrisco, vinaccia, ecc. con riscontri produttivi interessanti, anche quando utilizzati per più cicli colturali successivi.

1.8.1 - Inquadramento legislativo riguardante i substrati

Sia la produzione che la commercializzazione dei substrati di coltivazione sono disciplinati dalla normativa per i fertilizzanti, decreto legislativo 29 aprile 2010, n.75 (Gazzetta Ufficiale n. 121 del 26 maggio 2010) e successive modifiche ed integrazioni. La norma che definisce i substrati come “i materiali diversi dai suoli in situ dove sono coltivati i vegetali” prevede

due tipi di prodotto: il substrato di coltivazione base e il misto, per i quali vengono esplicitate le materie prime utilizzabili, i requisiti chimico-fisici definiti in termini di pH, conducibilità elettrica, carbonio organico e densità apparente. La normativa specifica anche quali parametri devono essere dichiarati in etichetta (obbligatori e facoltativi) indicandone le relative tolleranze ovvero di quanto il valore dichiarato potrà discostarsi dal valore riscontrato ad un controllo.

1.8.2 - Caratteristiche chimico-fisiche dei substrati

In una coltura fuori suolo, le caratteristiche fisiche di un substrato di coltivazione devono favorire il supporto e l'ancoraggio delle piante, trattenere l'acqua e renderla disponibile alla pianta, permettere lo scambio di gas tra le radici e l'atmosfera esterna al substrato, l'elevato potere isolante per contenere gli sbalzi termici, l'assenza di semi, di parassiti vegetali e animali, la struttura con una buona porosità, fino al 75% costituita dal 42% dalla fase liquida e dal 33 % da quella gassosa (Nelson, 2003; Tesi, 2008).

In un substrato colturale, le percentuali della porosità possono variare tra il 40-60 % per la fase liquida e tra il 15-35 % per quella gassosa. Inoltre, la struttura deve essere stabile e mantenersi nel tempo, resistendo al compattamento, alla riduzione di volume (non superiore al 30 % del volume) durante la fase di disidratazione, altrimenti provocherebbe la rottura delle radici (Pimpini, 2004). Dalla porosità si può calcolare la densità apparente (o peso apparente) che corrisponde al volume occupato dalle particelle solide del substrato più gli spazi vuoti: per facilitare la gestione del substrato la porosità apparente dovrebbe assumere valori bassi (Reed, 1996).

L'elevata capacità di ritenzione idrica consiste nel mantenere un'adeguata umidità per la coltura e nel ridurre gli interventi irrigui. Non deve essere però eccessiva per non determinare problemi di asfissia radicale. Per evitare questa evenienza, soprattutto in contenitori alti, si devono aumentare i componenti drenanti del substrato (Pimpini, 2004).

Il potere isolante del substrato è in stretta relazione con la capacità di trattenuta dell'acqua, ma è influenzato anche dal colore e dalla conducibilità termica del materiale.

I substrati organici di colore scuro, ad esempio, subiscono una minore escursione termica rispetto a quelli di natura sabbiosa (Pimpini, 2004). Le caratteristiche chimiche ideali di un substrato sono le seguenti: essere una riserva di nutrienti (Nelson, 2003), possedere un'elevata capacità di scambio cationico, un pH adatto ad un gran numero di specie (preferibilmente subacido), e un buon potere tampone.

La capacità di scambio cationico (CSC) permette di conoscere la necessità di apportare sin dall'inizio della coltura tutti gli elementi nutritivi indispensabili alla pianta (Tesi, 2008). La

CSC è definita dalla somma dei cationi scambiabili che il substrato può trattenere per unità di peso. Si esprime in milli-equivalenti per 100 cm³. Un valore adatto è tra i 6-15 meq/cm³. Il pH, che è la misura degli idrogenioni presenti nel substrato, regola la disponibilità di tutti gli elementi nutritivi essenziali per la pianta. Il pH dovrebbe essere subacido con un minimo di 5,4 fino a 6,8 (Reed, 1996).

Il potere tampone permette di mantenere il pH costante e vicino all'optimum richiesto dalla pianta. Non avrebbe senso stabilire il pH all'inizio della coltivazione se poi questo varia a causa dell'irrigazione e della concimazione (Tesi, 2008).

La formulazione di un corretto substrato di coltivazione si basa sulla scelta dei materiali che permettono di avere tutte queste caratteristiche. I materiali possono essere di origine organica o minerale, derivanti da scarti di lavorazione o da altre attività umane, e di origine industriale. La caratteristica che si cerca sempre di ottenere è la stabilità nel tempo del substrato. Qui di seguito sono trattati i principali componenti dei substrati, divisi in base alla loro origine organica o inorganica (Pimpini, 2004).

1.8.3 - Granulometria

La granulometria è la parte solida del terreno espressa come percentuale in peso delle particelle elementari che lo compongono, classificate per categorie convenzionali di diverso diametro (Giardini, 1977). La determinazione della granulometria di un materiale consente di caratterizzare la composizione dello stesso rispetto alle dimensioni delle particelle costituenti. La distribuzione delle dimensioni delle particelle e dei pori determina il bilancio tra il contenuto d'acqua e l'aria del substrato, a qualunque livello di umidità.

Le dimensioni delle particelle condizionano la crescita delle piante a seconda delle dimensioni dei pori per cui si può avere una tessitura grossolana, in cui le particelle sono di dimensioni superiori a 0,9 mm con pori grandi, superiori a 100 µm, trattengono ridotte quantità d'acqua ma hanno una buona aerazione.

Una tessitura da media a grossolana, in cui le particelle sono di dimensione tra 0,25 e 2,5 mm con pori tra 30 e 300 µm, trattengono una sufficiente quantità di acqua facilmente disponibile e presenta anche un adeguato contenuto d'aria. Infine si ha una tessitura fine, con particelle di dimensioni inferiori a 0,25 mm con pori inferiori a 30 µm, trattengono grandi quantità d'acqua difficilmente disponibile e con una cattiva aerazione (Calderón, 2002).

1.8.4 - Peso Specifico Apparente

Con il termine peso specifico (o densità) apparente, espresso come peso per unità di volume, si intende il rapporto tra il peso del materiale essiccato in stufa alla temperatura di 105 °C e il volume occupato al momento del prelievo.

Il peso specifico apparente di un substrato di coltivazione è generalmente più basso di quello di un terreno agrario (1.2-1.6 kg/L), sull'ordine di 0,10-0,80 kg/L, comunque inferiore ad 1kg/L (Bibbiani, 1996).

Un peso specifico apparente alto significa, in termini pratici, un peso elevato che quindi può diminuire i rischi di rovesciamento del contenitore nel quale è contenuta la coltura, soprattutto per specie con apparato epigeo molto sviluppato. In generale, un PSA ottimale per la coltivazione in contenitore oscilla tra 100 e 500 kg/m³ (Perelli, 2003) o tra 0.15 e 0,5 g/cm³ (Cattivello, 1990).

1.8.5 - Porosità Totale

La porosità totale è il volume di substrato, non occupato da materiale solido (volume degli spazi vuoti), perché riempito di aria ed acqua. E' definita come la differenza tra l'unità e il volume totale occupato dalla materia solida, il suo valore è espresso in percentuale sul volume totale.

La porosità è costituita dalla somma di due classi di dimensioni di pori: i micro-pori, occupati dall'acqua (pori di diametro inferiori ai 25 µm) e i macro-pori, occupati dall'aria (pori di diametro superiore ai 25µm) (Giardini, 1977).

1.8.6 - Il pH

Il pH misura la concentrazione di ioni idrogeno (H⁺), ed indica se la soluzione circolante nel substrato, la fase liquida in cui si svolgono i principali fenomeni chimici e biologici del substrato e da cui le radici traggono il nutrimento, è acida, neutra o basica.

Possiamo avere substrati a seconda dei valori: peracidi < 4,6; acidi 4,6-5,2; moderatamente acidi 5,3-5,9; subacidi 6,0-6,6; neutri 6,7-7,3; sub alcalini 7,4-8,0; moderatamente alcalini 8,1-8,7; alcalini 8,8-9,4; per-alcalini > 9,4 (Giardini, 1977).

1.9 - Tecnologie per la sostenibilità ambientale: la fertirrigazione

Una delle più importanti innovazioni di processo che negli ultimi anni hanno interessato il settore orto-vivaistico è senza dubbio la fertirrigazione, già largamente impiegata nelle colture in serra ed in rapida diffusione anche per quelle in campo, anche se limitatamente a quelle a ciclo primaverile-estivo irrigate a goccia o a sorsi.

La tecnica della fertirrigazione non consiste soltanto nel semplice abbinamento tra l'irrigazione e la fertilizzazione; rappresenta o può rappresentare, invece, un efficace sistema per aumentare le rese e la qualità delle produzioni ed al tempo stesso razionalizzare la distribuzione dei concimi, con lo scopo di diminuirne le dosi e ridurre così i costi di produzione e contenere, se non annullare, l'inquinamento dei corpi d'acqua, profondi e superficiali, provocato dagli elementi nutritivi, in particolare dall'azoto. Con la fertirrigazione è possibile abbandonare l'approccio tradizionale alla concimazione minerale, basato su di una concimazione di fondo ed eventualmente su uno o pochissimi interventi in copertura. La tecnica, infatti, consente di soddisfare le esigenze nutritive delle colture man mano che queste si modificano con il progredire del ciclo colturale. Evidentemente, per raggiungere questo scopo occorre conoscere la variazione del tasso d'assorbimento minerale delle piante e poter valutare, durante la stessa coltivazione, lo stato nutritivo della coltura e l'effettiva disponibilità di nutrienti nel terreno.

Negli ultimi anni, lo sviluppo scientifico e tecnologico nel settore dell'orticoltura protetta si è orientato verso lo sviluppo di tecniche più sostenibili. L'idroponica, con il supporto dei sistemi di automazione e computerizzazione per il controllo del clima e della traspirazione colturale nella serra, è o può essere uno degli strumenti che meglio si adattano al raggiungimento di questi obiettivi. Tuttavia la tecnologia idroponica non si sviluppò subito negli impianti commerciali a causa degli alti costi e della presenza di alcuni problemi tecnici legati al tipo di materiale impiegato per la costruzione degli impianti stessi.

Solo a partire dagli anni '80, grazie all'utilizzo della plastica e della torba come substrato, la coltivazione fuori suolo ricevette un nuovo impulso e iniziò a espandersi rapidamente con il supporto crescente fornito dalla ricerca scientifica e tecnologica condotta prevalentemente in Olanda, Inghilterra e Giappone. Tuttavia la tecnologia idroponica è rimasta una tecnica poco diffusa.

Si stima che gli ettari coltivati sotto serra con sistemi idroponica siano compresi tra 20.000 e 30.000, secondo i dati riportati da Schwarz (2001) e da Jouet (2002).

I sistemi idroponica possono essere classificati secondo: la presenza e il tipo di substrato (colture su substrato o idrocoltura); il metodo irriguo per apportare la soluzione nutritiva alla coltura (irrigazione a goccia o subirrigazione); l'uso o meno della soluzione nutritiva drenata (ciclo aperto o chiuso).

Implicazioni ambientali: l'idroponica è generalmente considerata una tecnica di produzione ecocompatibile in quanto non si effettuano geo-sterilizzazioni ed, ovviamente nei cicli chiusi, è ridotto l'impiego di acqua e di fertilizzanti. Quest'ultimo rappresenta uno dei vantaggi più importanti, poiché le risorse e la qualità dell'acqua usata per l'irrigazione si stanno esaurendo rapidamente in molte regioni del mondo.

In tempi recenti, la qualità dei prodotti agricoli e orticoli in genere hanno fatto molti passi avanti. Insieme alle caratteristiche tradizionali dei prodotti agricoli (freschezza, gusto e sapore), altri aspetti come le condizioni di produzione (responsabilità ambientali e sociali) e la sicurezza del prodotto sono sempre più apprezzati dal mercato (Petitjean, 2001).

1.9.1 - Fondamenti della nutrizione minerale in sistemi idroponici

Le condizioni di crescita negli impianti idroponici sono estremamente favorevoli allo sviluppo della coltura. Infatti il continuo apporto di nutrienti all'apparato radicale e le favorevoli condizioni di crescita in substrati sterili pongono la pianta in un ambiente privilegiato; la mancanza di stress nutrizionali ed idrici si ripercuote positivamente sulle caratteristiche quanti-qualitative del prodotto finale. Il rifornimento minerale dal substrato alle radici può avvenire per diffusione, per flusso di massa (cioè per trasporto della soluzione circolante) e per intercettamento.

In sistemi colturali fuori suolo, il rifornimento minerale avviene principalmente per flusso di massa; quindi in tali sistemi la proliferazione radicale non è così importante, anzi una crescita radicale elevata può provocare problemi di asfissia nella parte ipogea della pianta.

La concentrazione di nutrienti nella zona radicale nelle colture fuori suolo è generalmente più alta rispetto al suolo. L'uso di concentrazioni relativamente alte è dovuto principalmente a due ragioni tecniche: 1- garantire un adeguato e costante apporto di nutrienti nella zona radicale; 2 – preparare automaticamente la soluzione nutritiva per mezzo di sistemi di fertirrigazione che normalmente diluiscono 100-200 volte le soluzioni stock concentrate sulla base della misura della conducibilità elettrica (CE).

1.9.2 - Composizione della soluzione nutritiva

La soluzione nutritiva utilizzata per colture idroponiche contiene tutti i macro-elementi (N, P, K, Ca, Mg, S) e microelementi (Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B), necessari per lo sviluppo delle piante, in concentrazione dell'ordine di milli e micro-moli per litro. I valori ottimali di pH per la solubilità e l'assorbimento radicale dei nutrienti sono compresi tra 5.5 e 6.5.

Normalmente, la concentrazione della soluzione nutritiva è espressa e valutata indirettamente per mezzo della misura di EC (mS/cm); una semplice relazione lineare può essere utilizzata per convertire la concentrazione cationica totale (C^+) da milli equivalenti in EC, assumendo che la concentrazione equivalente dei cationi sia uguale a quella degli anioni (Sonneveld et al, 2000):

$$EC = 0,19 + 0,095 C^+$$

1.9.3 - Bilancio dei nutrienti nella produzione di agrumi ornamentali in vaso

La produzione di piantine di agrumi in ambiente protetto e con il supporto di tecnologie moderne è l'inizio di una nuova agrumicoltura più efficiente e capace di garantire: continuità, competitività e sviluppo del settore agrumicolo. L'efficienza del sistema di produzione di piantine di agrumi in contenitore è alta, principalmente se si considera il numero di piante per area (Castle e Rouse, 1990).

Studi effettuati da Castle e Rouse (1990) su piante di agrumi coltivate sia in campo che su substrato inerte, hanno evidenziato differenze sull'asportazione dei nutrienti da parte delle piante; in particolare dopo la somministrazione di dosi uguali di nutrienti in entrambe i sistemi colturali, l'asportazione delle piantine in campo è stata quasi il triplo di quelle su substrato. Risultati diversi sono stati riscontrati in studi effettuati da Bernardi (1999), infatti per gli stessi nutrienti ha ottenuto valori maggiori di asportazione.

Castle e Rouse (1990) hanno, inoltre, verificato che la quantità di nutrienti assorbiti dalle piantine era di appena il 5-20 % del totale dei nutrienti somministrati, questo sarebbe legato al fatto che le piantine coltivate in recipiente perdono più nutrienti per lisciviazione.

Furono realizzate altre ricerche per studiare la lisciviazione di N, P e K con vari metodi e frequenze di applicazione (Cox, 1993 e Broschat, 1995). La differenza dei risultati sperimentali può essere relazionata alle differenti dimensioni dei contenitori, alla gestione dell'irrigazione e perdita di nutrienti per volatilizzazione.

L'uso di fertilizzanti a lento rilascio è una tecnica che viene utilizzata e consiste nell'impiego di fertilizzanti incapsulati con graduale liberazione del nutriente (Ballester-Olmos et al., 1992).

In generale, la perdita di nutrienti dai contenitori è riconducibile alla gestione dell'irrigazione e al tipo di fertilizzante utilizzato.

Nelle coltura perenni, come quella degli agrumi, la precocità dell'entrata in produzione è importante per garantire un ritorno economico rapido dell'investimento sostenuto per

l'istallazione del frutteto. Per questo, fattori come la qualità e un adeguato stato nutrizionale diventano molto importanti per il successo nella formazione di un impianto con alta omogeneità e vigore (Lima, 1986).

Il portinnesto può influenzare lo sviluppo dei frutti e l'effetto maggiore di tale influenza è dovuta alla capacità di assorbimento di acqua e sostanze nutritive da parte della pianta (Castle, 1995).

Il portinnesto può anche influenzare il contenuto minerale della foglia (Dasberg, 1996) e l'efficienza della produzione di frutti (Quaggio et al., 2004). Il portinnesto ha caratteristiche positive: maggiore vigore, maggiore tolleranza a stress idrici e alta produttività della pianta (Schafer, 2006).

L'efficienza nell'applicazione dei fertilizzanti ha un ruolo fondamentale nella produzione di piantine di agrumi. L'azoto è considerato il nutriente più importante nei programmi di fertilizzazione e diventa particolarmente limitante (critico) per la produzione di piante ad elevata densità (Esposti e Siqueira, 2004).

Esistono studi con risposte positive di portinnesti di agrumi coltivati in tubi con l'ausilio della concimazione azotata, nei primi 4 mesi dalla semina (Carvalho e Souza, 1996; Decarlos Neto et al., 2002) ed, inoltre, all'uso di N, P, e K durante tutta la fase della formazione della piantina (Bernardi et al., 2000). Oltre alla dose adeguata, è importante conoscere la frequenza delle fertilizzazioni, poiché si possono verificare delle forti lisciviazioni dei nutrienti, causata dalla costante irrigazione e dalle ridotte dimensioni dei contenitori (Barroso et al., 2000). Pertanto si ha la necessità di somministrare nutrienti in copertura, principalmente N e K.

Un modo promettente per il rifornimento di nutrienti nella produzione di piantine è tramite la fertirrigazione, dal momento che il nutriente viene fornito insieme all'acqua (essenziale per l'assorbimento) si hanno, inoltre, altri vantaggi come una migliore distribuzione del fertilizzante e la possibilità di un miglior frazionamento dei fertilizzanti, aumentando l'assorbimento dei nutrienti (Duenhas, 2005).

Secondo Smith (1966), fattori quali: varietà, combinazione portinnesto- innesto, età e posizione delle foglie e interazioni tra i nutrienti possono interferire nel tenore dei nutrienti nella foglia.

Generalmente, i livelli di N e K sono inversamente correlati, l'azoto ha un ruolo predominante sul potassio.

Alcuni studi hanno utilizzato come fattori N e K, dimostrando che ad alti livelli di azoto somministrato si ha un alto tenore di N nelle foglie e scarso di K, e non viceversa (Reese e Koo, 1975; Reitz e Koo, 1960). Questi risultati indicano che l'azoto è dominante nelle interazioni tra i due nutrienti. Il livello di P nella foglia dipende dalla sua somministrazione,

ma anche dal livello dell'azoto. I livelli dei due nutrienti sono inversamente correlati, avendo l'N un effetto pronunciato sul P (Reese e Koo, 1975). Piante con bassi livelli o deficitari in azoto possono presentare alti contenuti di P e viceversa (Smith, 1966). Bernardi, Carmello, Carvalho (2000) hanno riscontrato che: - il livello di azoto è direttamente correlato ai livelli sia del fosforo che del potassio; - il contenuto di Ca, Mg e S si relaziona positivamente con livelli intermedi di azoto; - elevate dosi di potassio hanno un effetto inibitorio sull'assorbimento del Ca e del Mg.

Boaventura (2003), studiando l'accumulo di macronutrienti e micronutrienti in piantine di agrumi afferma che la gestione dei nutrienti tramite la fertirrigazione è stata più efficiente nel rendere disponibili le quantità di nutrienti richieste dalle piantine, durante l'intero periodo di crescita in ambiente protetto.

Inoltre, ha constatato il seguente ordine decrescente di accumulo delle sostanze nutritive in fertirrigazione: $N > K > Ca > S > P > Mg$ e $Fe > Mn > B > Zn > Cu$. Boaventura (2003) studiando la domanda di nutrienti in piantine di agrumi coltivate su substrato, avvalendosi di un sistema di fertirrigazione, ha utilizzato le seguenti dosi: $N=196$, $P=39$, $K=187$, $Ca=142$, $Mg=45$, $S=55$, $B=0,55$, $Cu=0,13$, $Fe=1,8$, $Mn=0,54$, $Zn=0,23$, $Mo=0,10$ g 1000L⁻¹. Ogni settimana venivano effettuate 3 applicazioni con 250 ml di soluzione nutritiva per pianta.

Tecchio et al. (2006) lavorando sull'accumulo di nutrienti in portinnesti, in vivai commerciali di agrumi, durante 220 giorni, dalla semina fino all'innesto, ha osservato il seguente ordine decrescente di estrazione di macronutrienti $K > N > Ca > P > Mg > S$ e di micronutrienti $Fe > Cu > Mn > Zn > B$. Altri studi hanno evidenziato che N, Ca, Mg e Cu si accumulano in maggior quantità nelle foglie, il P nel caule ed infine K, S, Mn e Zn nelle radici. La domanda di nutrienti segue la curva di crescita della pianta. La maggior domanda di nutrienti si verifica dopo il trapianto (150-180 giorni) e dopo l'innesto (270 giorni). L'accumulo di nutrienti avviene secondo il seguente ordine: $N > Ca > K > P > Mg > S$ per i macronutrienti e $Fe > Mn > Cu > Zn$ per i micronutrienti (Rezende et al., 2010).

La carenza di ferro in piante di agrumi, coltivate in serra, è molto comune ed è associata a fattori che determinano la disponibilità delle sostanze nutritive, come squilibri nutrizionali ed interazioni con K, Ca, Mg, Cu e Zn (Malavolta et al., 1997), eccessiva umidità del substrato e modifiche del pH della soluzione nutritiva. Oggi la tecnica di somministrazione del ferro più utilizzata è quella in forma chelata, che conferisce una maggiore stabilità e solubilità allo ione metallo.

La sua efficienza dipende da fattori come: il pH della soluzione fertilizzante, l'agente chelante e la capacità della pianta di assorbire il ferro (Lucerna et al., 1992). La carenza di ferro altera l'apparato fotosintetico, causando una drastica riduzione dei pigmenti verdi e un relativo arricchimento di pigmenti gialli, a causa dell'aumento di alcuni carotenoidi nei

cloroplasti (Yunta et al., 2003a). Di conseguenza, i sintomi della carenza di ferro si manifestano prima nelle giovani foglie (Römheld, 2001). Questo influisce sul contenuto dei nutrienti di origine minerale, sulla produzione e sulla qualità delle piante (Bañuls et al., 2003). Un metallo chelato è il risultato di una speciale reazione di complessazione in cui il complesso formato mostra le connessioni multiple in una struttura intorno ad un ione metallici (Albano e Miller, 1995). I composti chelati permettono di mantenere i metalli solubili in ambienti chimici avversi, in cui gli ioni metallici possono precipitare in forma di ossidi o idrossidi.

Così, l'uso del ferro in forma chelata è il modo più usuale ed efficace per prevenire Fe-carenza nelle piante.

Alti livelli di rame (Cu) in foglie e anche in altre parti della pianta di agrumi suggeriscono che la domanda per questo elemento è superiore a quello delle piante coltivate in campo (Boaventura, 2003). Dopo l'applicazione di dosi elevate di azoto finalizzate alla rapida crescita delle piante, sono stati segnalati problemi nei vivai associati a deficit di Cu, probabilmente, causata da un eccesso di N (Almeida et al., 2007a, b). Inoltre, si hanno poche informazioni riguardo la gestione di N e Cu per la produzione di piantine in vivaio. In questo contesto, Gilbert (1951) sostiene che l'attività del Cu nel metabolismo vegetale è inversamente proporzionale alla concentrazione dello ione legato a proteine complesse, determinando riduzioni del trasporto degli elettroni, dell'attività enzimatica e della fotosintesi. Inoltre, un eccesso di Cu interagisce con molti processi biochimici e provoca disturbi del metabolismo, con conseguente inibizione della crescita e dello sviluppo (Fernandes e Henriques, 1991).

1.10 - Il biochar

Biochar è un termine usato per indicare solidi ad alto contenuto di carbonio formati come risultato di un processo di pirolisi della materia organica, tale materiale può essere originato da una vasta gamma di biomasse. La struttura originale di partenza di molti tipi di biomasse rimane impressa anche sul biochar prodotto (Laine et al., 1991; Wildman e Derbyshire, 1991) e ha un'influenza determinata sulle proprietà fisiche e sulle caratteristiche strutturali. Durante i processi di pirolisi, vi è una perdita di massa (principalmente composti organici volatili) e un restringimento disomogeneo di volume. Quindi, durante le conversioni termiche, lo scheletro di carbonio e di minerali formati conservano una porosità rudimentale e la struttura originale del materiale. La struttura cellulare di origine, che può essere identificata nel biochar prodotto da legno e carbone di tutti i tipi, contribuisce alla maggior parte della macroporosità presente (Wildman e Derbyshire, 1991).

Quando la biomassa ricca di carbonio viene riscaldata ad alte temperature, si creano diversi prodotti solidi. Le differenze tra questi diversi materiali sono sottili. Di seguito vengono elencati i diversi termini che definiscono meglio i vari prodotti carboniosi (Lehmann J., Joseph S., 2009).

- Char: materiale solido carbonioso ottenibile tramite decomposizione termica del materiale organico.
- Biochar: prodotto solido risultante dalla decomposizione termica (pirolisi o gassificazione) della biomassa.
- Carbone: prodotto a partire da materiali carboniosi, riscaldati ad alte temperature (superiori a 500 °C) per lungo tempo (oltre 10 ore).

1.10.1 - Origini del biochar

Nell'Amazzonia brasiliana sono stati scoperti numerosi siti dove il suolo presenta caratteristiche assolutamente diverse dai terreni adiacenti, nonostante mineralogia e tessitura siano le stesse (Zech et al. 1990). Al contrario dei suoli fortemente alterati tipici della foresta amazzonica (soprattutto Ferralsol ed Acrisol), di colore rosso, poco fertili perché ricchi in caolinite, dal pH acido e ricchi in alluminio, i suoli denominati Terra Preta do Indios hanno un colore nero, un pH alcalino, ospitano microrganismi endemici (O'Neill, 2006) e sono particolarmente fertili (Foto - 1). Sono caratterizzati da un alto contenuto in materiale carbonioso (black carbon – oltre 70 volte più dei suoli circostanti e fino ad una profondità di 40-80 cm), prodotto dalla combustione incompleta di parti vegetali (probabilmente resti di fuochi per cucinare il cibo) e introdotto volontariamente nel terreno dalle popolazioni locali in migliaia di anni (Glaser et al., 2004; Falcão et al., 2003; Erikson et al., 2003). Non si conosce ancora l'estensione effettiva di questi terreni, che a seconda degli studi viene stimata tra lo 0,1 e il 10% del bacino amazzonico (Mann, 2002; Sombroek et al., 2003). Le terre nere dell'Amazzonia hanno un alto contenuto di nutrienti e di sostanza organica stabile, e presentano un'elevata capacità di scambio cationico (Glaser et al., 2001; Steiner et al., 2004; Liang et al., 2006). Secondo Glaser et al. (2001) la frazione carboniosa deve la sua stabilità chimica e microbiologica alla sua complessa struttura policiclica aromatica, ed è in grado di persistere nell'ambiente per secoli. Durante questo periodo, la sua struttura aromatica viene lentamente ossidata producendo gruppi carbossilici, e questo aumenta la capacità delle particelle carboniose di trattenere i nutrienti. Anche secondo gli agricoltori locali le terre nere amazzoniche sono molto più fertili dei terreni circostanti, e la ricchezza in carbonio che conferisce questa capacità persiste anche

dopo molti secoli dall'abbandono da parte delle popolazioni indigene consentendo coltivazioni senza uso di fertilizzanti (Glaser et al., 2001; German, 2002).

In questo modo, il carbone interrato dagli indios amazzonici per incrementare le proprie colture diventa un fattore chiave per la sostenibilità e la fertilità del suolo delle aree umide tropicali, ma rappresenta anche, per l'elevata recalcitanza della sua struttura aromatica, un sink ideale per immobilizzare il carbonio e diminuirne le emissioni in atmosfera (Kuhlbusch et al., 1996).



Foto - 1: Esempio di suolo Terra Petra (a) confrontato ad un Ferralsol (b). (Reprinted from Naturwissenschaften, vol. 88, Glaser et al., The 'Terra Preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics, 37– 41, Copyright 2001, with kind permission from Springer Science and Business Media).

1.10.2 - Benefici del biochar

Il biochar è un carbone a grana fine e poroso prodotto a partire dalla pirolisi della biomassa (Foto - 2). Può essere addizionato ai terreni per migliorare la qualità del suolo, grazie al ruolo fondamentale del C nei processi chimici, fisici e biologici, ma anche per ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera (Glaser et al., 2002; Lehmann, 2007; Laird, 2008). L'applicazione del biochar nel suolo ha molti vantaggi ambientali rispetto all'uso di concimi organici o compost, perché è un materiale poroso (Foto) con una zona ad alta superficie interna che aiuta a trattenere più acqua e aumentare la conducibilità idraulica dei suoli (Asai et al., 2009). Il biochar è utilizzato come ammendante poiché in grado di aumentare la fertilità del suolo (Van Zwieten et al., 2008), la resa delle colture (Yamato et al., 2006) e di fornire protezione contro alcune malattie fogliari e terricole.

Essa mostra anche alti livelli di attività micro-organica (Fowles, 2007). Può migliorare la struttura fisica dei terreni (Chan et al., 2007) e può anche modificare le proprietà idrauliche del suolo (Gaskin et al., 2007). Grazie alle dimensioni dei pori, applicazioni di biochar aumentano l'umidità nei terreni sabbiosi e decresce nei terreni argillosi. Il biochar è stato utilizzato per ridurre la lisciviazione dei nutrienti, migliorando in tal modo la disponibilità delle sostanze nutritive (Yamato et al., 2006). Inoltre, la sua capacità di scambio cationico (CEC) è costantemente superiore a quella di tutto il suolo (Lehmann et al., 2003; Liang et al., 2006). Alcuni studi (Rondon et al., 2007; Van Zwieten et al., 2008) hanno attribuito la risposta positiva della pianta agli effetti del biochar sulla disponibilità di nutrienti, nonché per la sua capacità di aumentare o mantenere il pH del suolo, attraverso la calcinazione. Hossain et al. (2010) hanno riportato che l'applicazione di biochar può indurre una diminuzione di assorbimento di metalli pesanti dal terreno.

L'utilizzo del biochar promuove modifiche nella struttura del suolo, determinando così anche dei miglioramenti di molte altre proprietà chimico-fisiche del suolo, come la conducibilità elettrica, capacità di scambio cationico, pH, e la capacità di ritenzione idrica (Karhu et al., 2011; De Pasquale et al., 2012; Ouyang et al., 2013) che hanno un ruolo fondamentale nella standardizzazione del substrato per colture in serra. Fino ad oggi, diverse ricerche si sono concentrate sugli usi agricoli del biochar e sulla sua applicazione in colture in pieno campo, mentre pochi studi sono stati condotti sull'utilizzazione come substrato per le piante in vaso (Baronti et al., 2010; Tian et al., 2012).

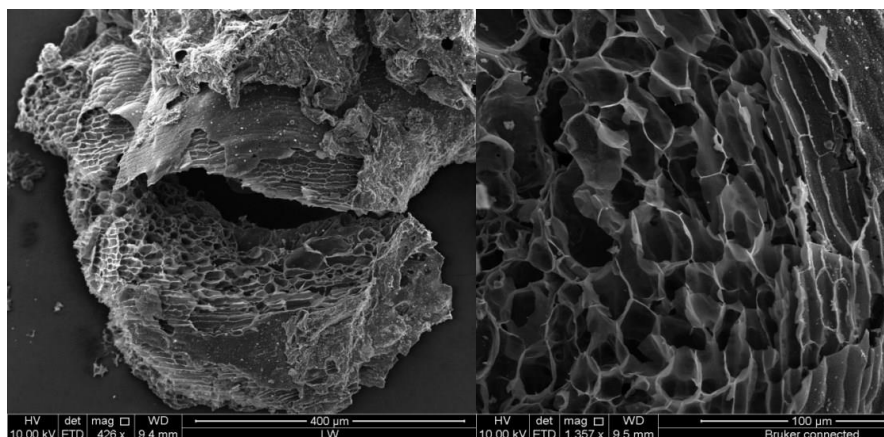


Foto – 2: Porosità del biochar, ottenuto ad una T di 600 °C dopo 2 ore.

Capitolo 2 - Obiettivo della ricerca

La qualità delle piante in vaso dipende, fondamentalmente, dal tipo di substrato utilizzato per coltivarle e, in particolare, dalle sue caratteristiche fisico-chimiche, dato che lo sviluppo ed il funzionamento delle radici sono direttamente legati alle condizioni di aerazione e al contenuto di acqua, oltre all'influenza diretta degli elementi nutritivi necessari alle specie che vi si sviluppano (Abad et al., 1992). L'argomento substrati merita un attento esame viste le diverse possibili interpolazioni tra i diversi componenti degli stessi e il loro comportamento nei confronti degli altri fattori limitanti quali clima, acqua, nutrizione. Fattori importanti sicuramente da considerare sono:

- a) un giusto grado di porosità per permettere alle piante di costituire un apparato radicale ottimale e di facilitare il drenaggio dell'acqua in eccesso;
- b) un giusto grado di umidità;
- c) un contenuto di elementi nutritivi bilanciato con apporto di microelementi;
- d) una buona capacità di scambio cationico
- e) un buon potere assorbente

Le proprietà fisiche di un substrato sono molto importanti, poiché se queste sono inadeguate difficilmente si potranno migliorare una volta impiantata la coltura (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999).

Negli ultimi anni, il settore dell'orto-florovivaismo, sia in serra che in piena aria, si è orientato verso lo sviluppo di tecnologie di coltivazione in grado di combinare l'efficienza produttiva con la sostenibilità ambientale. Tra queste, un ruolo importante è senza dubbio svolto dalla coltivazione fuori suolo (o idroponica). Tra le varie tecniche, sicuramente le più diffuse sono le colture in contenitore, generalmente utilizzate per la produzione di ortaggi (pomodoro, peperone, melanzana, cetriolo, melone, zucchino, ecc), fragola, fiori recisi (rosa, gerbera, crisantemo, bulbose) e materiale di propagazione (piantine da seme, da talea, ex vitro). La coltivazione in contenitore interessa sempre più anche il vivaismo ornamentale e frutticolo (olivicolo, agrumicolo) in piena aria.

La coltura in vaso si caratterizza per l'impiego di contenitori di varia forma e dimensione, e di un substrato artificiale, spesso preparato con materiali di varia natura, organica o minerale.

Per la produzione di piante ornamentali si preferiscono in genere dei miscugli (come quelli a base di torba e perlite, usati soprattutto in serra, o di torba e pomice, di largo impiego nei vivai in pieno campo), mentre per la coltivazione (in bancali o in sacchi) delle specie ortive o da fiore reciso molto spesso si impiega un unico materiale (fibra di cocco, perlite, lana di roccia, etc.). Tuttavia possono essere utilizzati anche altri tipi di substrati, la cui scelta è fortemente condizionata dalla disponibilità e dal loro costo. La torba presenta le caratteristiche ideali per un substrato di coltivazione: è leggera, omogenea, molto porosa, relativamente stabile, sicura dal punto di vista fitopatologico, ha in genere un pH acido, che però può essere facilmente aggiustato con l'aggiunta di carbonato di calcio. Queste caratteristiche la rendono adatta in pratica alla coltivazione di tutte le specie vegetali.

D'altra parte, una serie di motivi spinge verso la ricerca di materiali alternativi alla torba. Infatti, i prezzi della torba crescono in continuazione in seguito all'incremento dei costi energetici che incidono su tutte le fasi del processo produttivo, compreso il trasporto dai paesi produttori del Nord-Europa o del Canada. Inoltre, aumenta la domanda di substrati peat-free a seguito di una campagna di stampo ambientalista condotta contro lo sfruttamento delle torbiere, in considerazione del valore naturalistico (in alcuni casi, anche archeologico) di questi particolari habitat e della natura di risorsa “non rinnovabile” di questo materiale, la cui formazione richiede in effetti migliaia di anni.

Scopo del progetto di ricerca è lo studio e la valutazione del biochar come substrato alternativo nella coltivazione in vaso di specie ornamentali.

In particolare, le prove sperimentali riguardano la coltura in contenitore della sp. *Euphorbia* x *Lomi* cv. “Ilaria” presso le serre sperimentali del CRA di Bagheria e della specie *Citrus Limon* var. “Lunario” presso le serre sperimentali dell’Azienda Trapani Piante Ornamentali di Marsala (TP).

Capitolo 3 – Materiali e metodi

Nelle prove sperimentali che si sono condotte è stato valutato l'utilizzo del biochar come substrato nella coltura di piante ornamentali in contenitore.

3.1 - Utilizzo del biochar nella coltura in vaso della specie *Euphorbia*

L'obiettivo del presente lavoro è valutare le principali caratteristiche fisiche e chimiche del biochar come substrato nella coltura in vaso di talee della specie *Euphorbia*, con lo scopo di diminuire il contenuto di torba sostituendolo con percentuali sempre maggiori di biochar di conifere, e di osservare gli effetti di questo substrato. L'influenza del biochar sulla coltivazione è stato valutato rilevando e analizzando i principali parametri, quali: crescita, caratteristiche ornamentali e nutrizionali delle piante in vaso della sp. *Euphorbia x lomi*. L'esperimento è stato condotto nel 2012, in una serra non riscaldata (28 °C giorno/14 °C di notte) a campata unica, orientata EW (25 x 8 m) con struttura in acciaio e rivestimento in polietilene (spessore 0,15 millimetri), situato presso il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA), in particolare l'Unità di Ricerca per il recupero e la valorizzazione delle Specie Floricole Mediterranee di Palermo (38° 5 "N, -13° 30" E, 23 m slm), sulla zona costiera nord occidentale della Sicilia (Foto 3 e 4).





Foto 3 - 4: CRA-Palermo

3.2 - Specie *Euphorbia*

L'ibrido interspecifico *Euphorbia x lomi* (Foto 5) è un incrocio tra *E. milii* (o Spina di Cristo) ed *E. lophogona* (fam. Euphorbiaceae), originario del Madagascar (Graf, 1985). Trattasi di un arbusto succulento caratterizzato da fusti carnosi, ricchi di spine e lattice, con foglie lisce, obovate, di colore verde intenso. Le infiorescenze, dette ciatofilli, sono costituite da brattee di grandi dimensioni, vistosamente colorate e di lunga permanenza sulla pianta. Emettono germogli, dai quali è possibile ottenere talee, sia alla base che lungo il fusto. Questi ibridi sono piante a basso input, crescono bene con elevati livelli termici e luminosi, presentano limitate esigenze idriche e nutrizionali ma necessitano di un buon drenaggio. Se allevate in condizioni favorevoli, sono in grado di andare a fiore per circa 10 mesi all'anno. Pochi i nemici naturali (Fascella G. e Zizzo G., 2009).



Foto 5 – Piante di *Euphorbia x lomi*

3.3 - Disegno sperimentale

Piante micropropagate di *Euphorbia x lomi* Rauh cv. "Ilaria" sono state coltivate (Foto 6), all'interno di una serra) in vasi di plastica di 13 cm di diametro (vol. 1 litro) riempiti con diverse percentuali (v/v) di torba e biochar di conifere:

- 100 % di torba (A),
- 80 % di torba-20% biochar (B),
- 60 % di torba-40% biochar (C),
- 40 % di torba-60% biochar (D),
- 20 % di torba-80% biochar (E),
- 100 % biochar (F).

Acqua, macro e micronutrienti sono stati forniti alle piante attraverso un sistema di fertirrigazione a goccia (1 gocciolatore/pianta, 2 litri h⁻¹) controllato da un computer. Tutti gli impianti sono stati alimentati con la stessa soluzione nutritiva, avente la seguente composizione: (mg l⁻¹): 180 N totale, P 50, 200 K, Ca 120, 30 Mg, 1,2 Fe, Cu 0.2, 0.2 Zn, Mn 0,3, 0,2 B. Il pH e la conducibilità elettrica (CE) della soluzione nutritiva sono stati mantenuti rispettivamente a 5,8 e 1,8 mS cm⁻¹.



Foto 6 – Prova sperimentale

3.4 - Analisi chimico-fisiche

3.4.1 - Analisi chimico-fisiche del biochar

Il biochar utilizzato nella prova sperimentale, deriva da porzioni legnose delle specie di: *Abies alba* M., *Larix decidua* Mill., *Picea excelsa* L., *Pinus nigra* e *Pinus sylvestris* A. L. (Foto 7). La matrice legnosa è stata pirolizzata ad una T di 450 °C. Quindi, sono state analizzate le principali caratteristiche chimico-fisiche del substrato testato, come riportato nelle rispettive tabelle (Tab. 2 e Tab. 3).



Foto 7 – Biochar di conifere utilizzato nella prova sperimentale

Il pH è stato determinato, tramite un pH-metro (GLP 21, Crison, Italia), nella sospensione di un campione di 60 g disciolto in 300 ml di acqua deionizzata (dopo agitazione per 60 min a temperatura ambiente - 22 °C); mentre la conducibilità elettrica (CE) è stata misurata sullo stesso estratto d'acqua (1:5 v/v) (HI 4321, Hanna Instruments, Italia). Il contenuto in azoto totale (N) è stato determinato tramite combustione a secco utilizzando un analizzatore elementare (Carlo Erba Instruments, Italia), successivamente è stato corretto per il tenore di ceneri, ottenuto in un forno elettrico a muffola ad una temperatura di combustione di 600 °C. Il contenuto totale di P, K, Ca, Mg e Na è stato determinato dopo la digestione acida in forno a microonde (CEM Mars Xpress, USA) utilizzando 0,2 g di campione secco (105 °C per 24 ore); i campioni del substrato, dopo la mineralizzazione, sono stati filtrati, diluiti e analizzati mediante spettrometria ad assorbimento atomico (Perkin-Elmer AAnalyst 200, USA).

3.4.2 - Analisi delle matrici vegetali

Durante la prova sperimentale, al fine di monitorare i ritmi di crescita delle piante ogni 30 giorni sono state prelevate dieci piante dalla serra e tramite una analisi distruttiva sono state separate in: steli, foglie e radici. In particolare, sono stati misurati e annotati i seguenti

parametri: altezza della pianta, diametro dello stelo, numero di germogli e foglie per pianta, la lunghezza delle radici, peso fresco e secco della pianta. Il peso secco della biomassa è stato determinato dopo essiccazione per 72 ore in un forno ad aria forzata (a 100 °C), sino al raggiungimento di un peso costante della biomassa. L'altezza della pianta è stata determinata considerando la distanza dalla superficie del substrato sino alla cima della pianta. Il diametro dello stelo è stato misurato a 5 cm sopra il colletto tramite un calibro elettronico (Feedback Sports, CO, USA). La lunghezza della radice è stata determinata considerando la distanza dalla base dello stelo sino alla fine della radice più lunga.

Il rapporto tra radici e parte epigea (R/S) è stato calcolato dividendo il peso secco delle radici dalla somma dei pesi secchi di foglie e steli. La superficie fogliare è stata misurata tramite un *digital area meter* (WinDIAS 2; DELTA-T DEVICES Ltd, Cambridge, UK).

Il tasso relativo di crescita (RGR: Relative Growth Rate: capacità della sostanza secca di produrre nuova sostanza secca) è stato calcolato secondo la formula proposta da Hoffmann e Poorter (2002). Secondo la formula, RGR è stato calcolato utilizzando la seguente equazione: $RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$ dove \ln = logaritmo naturale, W_1 = peso secco della pianta al momento uno (in grammi), W_2 = peso secco della pianta al momento due (in grammi), t_1 = tempo uno (in giorni), t_2 = tempo due (in giorni).

L'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) relativo alla biomassa è stato calcolato come rapporto tra il peso totale a secco delle piante e degli impianti di approvvigionamento idrico totale.

Il contenuto in clorofilla dell'apparato fogliare è stato calcolato su di un campione di tre foglie (scelte a caso tra tutte le piante di ogni tesi sperimentale) tramite il supporto di un misuratore di clorofilla (SPAD 502, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Giappone). Il colore delle foglie è stato determinato, su tre foglie di tutte le piante per ogni trattamento, con un colorimetro (Minolta CR10, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Giappone) che calcola le coordinate di colore (CIELAB): leggerezza (L), il tono (angolo di tinta, H) e la saturazione (cromo, C).

Nella prova sperimentale è stato adottato un disegno a blocchi randomizzati con 3 repliche per ogni singola tesi; ogni replica consisteva in 20 piante. I dati raccolti sono stati sottoposti ad una analisi a senso unico della varianza (ANOVA) e i diversi trattamenti sono stati confrontati utilizzando Duncan's Multiple Test Range (DMRT) al 5 % di probabilità utilizzando il pacchetto di Statistica (Statsoft Inc., Tulsa, OK).

3.4.3 - Analisi chimiche sull'assorbimento dei nutrienti

I residui di ioni metallici sia dei substrati che dei tessuti vegetali sono stati determinati mediante spettroscopia ad assorbimento atomico utilizzando un Shimadzu AA-6300 con fiamma (Milano, Italia). I campioni da sottoporre all'analisi spettroscopica sono stati

ottenuti tramite digestione in un forno a microonde (CEM Mars 5 - Bergamo, Italia), seguendo la procedura descritta in Tranchina et al. (2008). Per la digestione dei campioni vegetali e del substrato sono stati utilizzati acido nitrico, acido perclorico e perossido di idrogeno. L'analisi sull'assorbimento dei nutrienti è stata determinata solo per i trattamenti contenenti almeno il 40% di biochar (C, D, E e F).

3.4.4 - Analisi statistica dei dati

I dati raccolti sono stati sottoposti ad una analisi a senso unico della varianza (ANOVA) e i diversi trattamenti sono stati confrontati utilizzando Duncan's Multiple Test Range (DMRT) al 5 % di probabilità utilizzando Stat soft 7.0.

Per ogni set di dati (riguardanti foglie, steli e radici), con lo scopo di estrarre le variabili che meglio spiegano la variabilità interna del campione, è stata applicata la metodica della Sparse Component Analysis (SCA). L'applicazione di tale metodica è giustificata dal fatto che, considerando le ampie dimensioni del set di dati (numero di variabili superiore al numero di casi in studio), la classica metodica della PCA (Principal Components Analysis) non era applicabile. L'analisi statistica è stata effettuata attraverso l'utilizzo del software "R Project for Statistical computing". La Sparse Component Analysis (SCA) è stata applicata sui trattamenti contenenti almeno il 40 % di biochar (tesi: C, D, E e F).

3. 5 - Risultati e discussione

3.5.1 - Caratteristiche chimico-fisiche dei substrati di coltivazione

Le caratteristiche chimiche dei substrati di coltivazione sono state influenzate dall'aggiunta di biochar di conifere, riscontrabile nell'aumento del pH (5,7-9,5) nella Tab. 2. I valori più elevati relativi a CE, N, Ca e Mg sono stati registrati nella tesi con il substrato composto dal 100 % di torba. Il contenuto di N, poiché il biochar solitamente contiene quantità molto basse di N, non è risultato significativo.

La concentrazione di fosforo è diminuita (29,3-3,8 mg l⁻¹) con l'aumentare delle percentuali di biochar utilizzato; mentre il contenuto di K è stato inferiore (108,7 mg l⁻¹) nei substrati con lo 0 % e il 20 % di biochar (Tab. 2). Il contenuto di sodio (Na) era più elevato (19,5 mg l⁻¹) nei substrati contenente la torba.

I risultati riportati sulla caratterizzazione chimica sono in linea con quelli di Tian et al. (2012), i quali hanno riscontrato valori più bassi di pH e una maggiore disponibilità di N, in substrati a base di torba rispetto che al biochar e alle miscele di entrambe i substrati. Allo stesso modo, sia nel presente esperimento che dalle ricerche condotte da Karami et al. (2011), si è riscontrata una disponibilità di P più bassa in substrati addizionati con il

biochar. Altland e Locke (2012) hanno riportato che il biochar potrebbe essere efficace nel moderare nel tempo le fluttuazioni estreme dei livelli di nitrati in substrati a base di torba. Inoltre, Jones et al. (2012) sottolineano che, nel corso di una prova su campo di tre anni, il biochar oltre ad avere un piccolo ma significativo effetto sul pH del suolo, ha determinato un aumento del K scambiabile solo nel terzo anno. Suppadit et al. (2012) rimarkano come l'applicazione di biochar nel suolo abbia determinato un aumento nella CE, nel pH, nei cationi scambiabili e nelle sostanze nutritive disponibili. Altri autori (Zaccheo et al. 2014) hanno riportato una efficacia del biochar nel correggere l'acidità in un substrato di torba bionda.

Le caratteristiche fisiche dei substrati di coltivazione sono state influenzate dall'aggiunta di biochar, riscontrando una diminuzione del contenuto di acqua in PF1 (78,7-49,1 % v/v) all'aumentare del contenuto di biochar (Tab. 3), mentre in PF2 le differenze sono risultate meno evidenti (38,9-29,3 % v/v). E' stato osservato un aumento del contenuto di aria in PF1 all'aumentare del contenuto di biochar dei substrati, con valori più bassi (10,5 % v/v) ottenuti con il 20 % di biochar, considerando le piccole differenze che sono state registrate in PF2 (mediamente 5,9 % v/v) su tutti i sei trattamenti (Tab. 3). La porosità è moderatamente diminuita (90,7-74,9 %) all'aumentare del contenuto di biochar dei substrati (Tab. 3). La densità delle particelle e la densità apparente è aumentata con l'aumento del contenuto di biochar nei substrati di coltivazione, rispettivamente 1605-1860 kg m⁻³ e 318-642 g l⁻¹.

La diminuzione della densità apparente, dopo l'applicazione del biochar nel suolo, può essere spiegata con l'inferiore densità di massa delle particelle del biochar. Inoltre, l'aggiunta del biochar al substrato di coltura oltre ad aumentare la porosità, aumenta l'interazione tra minerali del suolo e le particelle organiche (Lehmann et al., 2011).

Al contrario, nel nostro esperimento, il biochar di legno di conifere addizionato alla torba ha comportato un aumento della densità apparente del substrato ed una diminuzione della porosità (Tab. 3).

I risultati ottenuti sono in accordo con quelli di altri autori (Guerrero et al., 2002), i quali hanno riscontrato un incremento delle particelle e della densità apparente nei substrati contenenti compost; inoltre, hanno anche osservato una diminuzione della porosità all'aumentare della percentuale di compost. Tian et al. (2012) riferiscono che l'aggiunta di biochar (prodotto a partire da rifiuti verdi) ad un substrato a base di torba, tende ad aumentare la densità di massa della miscela così come la percentuale delle particelle con una frazione granulometrica (0,25-2,00 mm) ottimale per la crescita delle piante, per una migliore ritenzione idrica e arieggiamento. Zaccheo et al. (2014) riportano, tra i benefici del

biochar, un miglioramento delle proprietà fisiche dei substrati riscontrabile in un aumento del contenuto di aria.

3.5.2 - La crescita delle piante

L'altezza delle piante è stata significativamente influenzata dall'aggiunta di biochar nei substrati, come riportato nella Tab. 4, con il valore più alto (14.7 cm) registrato nella tesi con il 60 % di biochar e il valore più basso (10.8 cm) nella tesi con il 100% di torba. Il diametro degli steli è aumentato con un più alto contenuto di biochar, ottenendo steli più spessi (1,8 e 2,0 cm) nelle piante coltivate con il 60 % e l'80 % di biochar, mentre il valore più basso (1,2 cm) è stato registrato nella tesi con il 100 % di torba (Tab. 4).

Il contenuto di biochar nei substrati di coltivazione ha influenzato significativamente la produzione di biomassa, come un più alto numero di foglie (61,1 pianta⁻¹) e relative aree fogliari (897,3 cm²) sono stati misurati nelle piante coltivate con il 60 % di biochar; valori inferiori di entrambe i parametri sono stati registrati nelle tesi con il 100 % di torba (rispettivamente : 29,3 foglie pianta⁻¹ e 426,2 cm²) (Tab. 4). Per quanto riguarda la produzione di germogli, un maggior numero di germogli è stato ottenuto (5,9 pianta⁻¹) in piante coltivate nel substrato contenente il 60 % di biochar, mentre la produzione più bassa (2,2 germogli/pianta) è stata ottenuta nella prova con il 100 % di torba (Tab. 4). La lunghezza delle radici è stata influenzata dai substrati di coltivazione, valori più elevati (in media 16,4 cm) sono stati registrati in piante cresciute con il 60 % di biochar o più.

Il rapporto radici/germogli è stato influenzato significativamente dai substrati di coltivazione, valori più elevati sono stati misurati nelle piante coltivate con 80 % e il 100 % di biochar (rispettivamente 0,54 e 0,58), mentre il rapporto più basso (0,22) è stato registrato nella tesi con il 100 % di torba (Tab. 4). Per quanto riguarda l'efficienza dell'uso dell'acqua, valori maggiori sono stati misurati nelle piante coltivate nei substrati contenenti il 60 % di biochar (1,1 g l⁻¹), mentre un WUE inferiore è stato ottenuto in piante allevate con un substrato contenente il 100 % di torba (0,29 g l⁻¹) (Tab. 4).

Il contenuto di clorofilla è stato influenzato dal contenuto di biochar nei substrati di coltivazione, valori di SPAD più elevati sono stati registrati in piante cresciute con il 60 % e l'80 % di biochar (rispettivamente 54,7 e 53,1) (Tab. 5).

La produzione di biomassa secca è stata significativamente influenzata dal contenuto di biochar nei substrati di coltivazione, ottenendo una maggiore biomassa totale nelle piante cresciute con il 60 % e l'80 % di biochar (rispettivamente: 60,8 e 51,1 g), valori più bassi sono stati osservati nelle tesi con 0 % e il 20 % di biochar (rispettivamente: 20,8 e 22,4 g) (Fig. 1). Sempre riferito alla produzione di biomassa, un elevato peso secco delle foglie è stato misurato nelle piante coltivate con il 60 % di biochar (35,0 g), mentre il peso più

basso è stato raggiunto nella tesi con il 100 % di torba (7,1 g) (Fig. 1). Il contenuto di biochar nei substrati di coltivazione ha influenzato in modo significativo il tasso di crescita relativo della coltura di *Euphorbia x lomi*, avendo registrato valori di RGR più elevati (4,0 g g⁻¹ giorno) nelle tesi contenenti il 60 % di biochar; nella stessa prova sono stati registrati tassi di crescita inferiori nella tesi contenente il 100 % di torba (1,8 g g⁻¹ giorno) (Fig. 2).

L'incremento produttivo della biomassa registrato nel nostro esperimento è probabilmente legato alle migliori condizioni idriche del substrato con il 60% di biochar e alla sua struttura, rispetto al substrato composto solo dalla torba. Lehmann e Rondon (2006) hanno riportato, dopo l'aggiunta di biochar nel substrato, un miglioramento delle capacità idriche e della struttura del suolo. Karhu et al. (2011) riferiscono come il biochar addizionato al terreno agricolo possa aumentare la capacità di ritenzione idrica del 11 %.

L'effetto positivo del biochar può essere spiegato nella sua maggiore stabilità rispetto ad altri ammendanti organici, nonché al terreno (Steiner et al., 2007). Il biochar è in grado di trattenere elevate quantità di cationi di scambio, grazie alla sua elevata porosità e al rapporto superficie/volume e responsabile del miglioramento nell'assorbimento e nella disponibilità degli elementi nutritivi (Yamato et al., 2006; Chan et al., 2007; Lehmann et al., 2003).

La formazione di gruppi funzionali superficiali e siti di adsorbimento su biochar può compromettere la sua CEC (Liang et al., 2006); di conseguenza, l'incremento di crescita nella nostra prova sperimentale (*Euphorbia x lomi*) potrebbe essere dovuto ad una maggiore disponibilità di nutrienti nei substrati contenenti biochar.

Gli effetti positivi del biochar sono stati precedentemente osservati in altre ricerche condotte da Glaser et al. (2002) e Rondon et al. (2007): nell'aumento della produzione di biomassa, nel migliorare la qualità del substrato e in una migliore disponibilità di sostanze nutritive. Rosenani et al. (2014) hanno riportato come l'applicazione al suolo di biochar (prodotto a partire da buccia di riso) aumenti la resa di *Amaranthus* e *Ipomoea*. Asai et al. (2009) hanno registrato un aumento della produttività dell'impianto dopo l'applicazione di biochar, attribuendo tale aumento ad una maggiore disponibilità di nutrienti del suolo. Suppadit et al. (2012) hanno riscontrato come l'utilizzo di biochar come ammendante determini un aumento del potenziale di crescita e delle rese di quattro varietà di noci, questo aumento è probabilmente dovuto alla maggiore disponibilità di nutrienti nel suolo. Inoltre, Tian et al. (2012) riferiscono che la miscelazione del biochar con la torba determina un ambiente fisico migliore (e un aumento del rilascio di nutrienti) per la coltivazione della *Calathea rotundifolia*. In realtà, il processo di carbonificazione crea una grana fine, un carbone altamente porosa che aiuta il suolo a trattenere acqua e sostanze nutritive (Laird, 2008; Novak et al., 2010).

I risultati di Baronti et al. (2010) dimostrano che con l'utilizzo dell'1,7 % di biochar al terreno si ottiene una abbondante produzione di sostanza secca nella coltura di loglio perenne, dovuto ad un miglioramento generale delle condizioni di crescita. Con percentuali maggiori all'1,7 % di biochar, sempre secondo Baronti et al. (2010), è stata osservata una riduzione generale della biomassa, probabilmente causata da cambiamenti in alcune proprietà del suolo. In linea con i risultati di Mikan e Abrams (1985), nel nostro esperimento si sono ottenuti valori inferiori di biomassa totale prodotta nelle tesi contenenti il 100 % di biochar; riconducibile, probabilmente, ad una carenza di micronutrienti indotta dall'aumento del pH del terreno. Inoltre, Rondon et al. (2007) hanno riscontrato come l'aggiunta di 165 t ha⁻¹ di biochar in un terreno porta una diminuzione del tasso di rendimento delle colture. Gaskin et al. (2007) riferiscono come il biochar di gusci di arachidi e di trucioli di pino applicato in quantità di 11 e 22 t ha⁻¹ riduce le rese del mais, ottenendo risultati inferiori rispetto al controllo.

3.5.3 - Assorbimento dei nutrienti

Riguardo l'assorbimento dei nutrienti, nella prova sperimentale si è registrata una diminuzione generale del contenuto di elementi minerali nei tessuti vegetali. In particolare, si è registrata una minore assimilazione di Mg, Fe e Mn nelle tesi contenenti il 40 % e il 100 % di biochar, mentre Zn e Na hanno evidenziato un aumento nelle foglie, nel fusto e nelle radici (Tab. 6). Allo stesso modo, Grigatti et al. (2007) nel loro esperimento hanno osservato come, nel corso dello sviluppo di piante ornamentali coltivate con diverse miscele di compost (formate da rifiuti verdi, fanghi di depurazione e torba), il contenuto di Fe sia rimasto costantemente inferiore rispetto al controllo, mentre per lo Zn si siano registrate percentuali di assorbimento maggiori nelle miscele contenenti compost. I risultati della prova sperimentale differiscono in parte con i risultati ottenuti da questi autori, i quali hanno rilevato un aumento del Mg nei tessuti in colture fuori suolo, ad eccezione di Salvia che ha sofferto una carenza di Mg. Hanno anche riferito che le piante coltivate su compost hanno mostrato, rispetto alla torba, un diverso assorbimento di micronutrienti come Cu, Zn e Mn, conforme ai meccanismi fisiologici proposti da Marschner et al. (1996); in base alle quali il partizionamento delle sostanze nutrienti dipende dal loro ciclo attraverso le foglie, i nutrienti causano uno squilibrio nei processi fotosintetici.

Ai dati ottenuti nella sperimentazione è stata applicata la Sparse Component Analysis (SCA), al fine di estrarre le variabili che meglio spiegano la variabilità interna nel disegno sperimentale. Il vettore *v* (Tab. 7) ha evidenziato come la combinazione delle 3 componenti (PC1, PC2, PC3) spiegano più del 75% della variabilità. Questo è stato studiato nel caso

delle foglie delle tesi C e D, dove PC3 è risultato predominante (Tab. 7), dato espresso sulla base dei micronutrienti Zn e Cu della superficie fogliare (Tab. 8a). Nel caso della tesi E, PC1 è apparso predominante (Tab. 7) e maggiormente correlato ai macro-elementi e allo SPAD (Tab. 8a). Inoltre, riguardo il substrato contenente il 100% di biochar (caso F) PC2 è risultato predominante e correlato ai micro e macronutrienti, dovuta alla minore disponibilità di acqua. Questo fenomeno è stato confermato dalle indagini sulla variabilità delle radici, che nel caso F (Tab. 7) è stato meglio espresso dalla lunghezza delle radici (Tab. 8c). Conte et al. (2013) studiando la saturazione con acqua del biochar di pioppo, hanno evidenziato come le molecole d'acqua sono legate al materiale carbonioso solido attraverso legami di idrogeno non convenzionali. La comprensione dei meccanismi delle interazioni biochar-acqua è un passo preliminare per la comprensione dei meccanismi molecolari attraverso i quali l'acqua può essere ceduta nel suolo biochar, interessando e modificando così le proprietà fisico-chimiche del substrato. Inoltre, poiché biochar è stato ottenuto mediante pirolisi, il C è in una forma più resistente alla decomposizione rispetto alla materia organica della torba. La stabilizzazione della sostanza organica, il rilascio dei nutrienti più lento e la migliore ritenzione dei cationi dopo l'applicazione del biochar, sono fattori importanti che devono essere citati.

3.6 - Utilizzo del biochar nella coltura in vaso della specie *Citrus limon*

L'obiettivo del presente lavoro è valutare le principali caratteristiche fisiche e chimiche del biochar come substrato nella coltura in vaso di talee autoradicate di *Citrus x limon* var. Lunario, con lo scopo di diminuire il contenuto di torba sostituendolo con percentuali sempre maggiori di biochar di conifere, e di osservare gli effetti di questo substrato. L'influenza del biochar sulla coltivazione è stato valutato rilevando e analizzando i principali parametri, quali: crescita, caratteristiche ornamentali e nutrizionali delle piante in vaso. L'esperimento è stato condotto nel biennio 2014-2013, in una serra con struttura in acciaio e rivestimento in polietilene, situata presso l'azienda Trapani Piante Ornamentali (soc. coop.) ricadente nel territorio di Marsala nella Provincia di Trapani.

3.7 - Specie *Citrus limon*

Il limone (*Citrus x limon* L. Burm. f.) è un albero da frutto appartenente alla Fam. Delle Rutaceae, Gen. *Citrus*. Sebbene le origini del limone siano incerte, si pensa che i primi luoghi in cui sia cresciuto siano la Cina, alcune regioni indiane e della Birmania.

Il limone è un albero che raggiunge anche i 6 metri di altezza. I germogli e i petali sono di colore bianco con sfumature sul violetto.

Il frutto è giallo all'esterno e quasi incolore all'interno, con forma da sferica ad ovale, spesso con una protuberanza all'apice e appuntito all'altra estremità. La buccia può essere da molto ruvida a liscia, più o meno foderata all'interno con una massa bianca spugnosa detta albedo.

Solitamente i limoni si coltivano per la produzione di frutti, ma la pianta può essere coltivata in vaso a scopo ornamentale.

3.8 - Disegno sperimentale

Talee autoradicate di *Citrus x limon* (L.) cv. "Lunario" sono state coltivate in vasi di plastica di 13 cm di diametro (vol. 1 l) riempiti con diverse percentuali (v/v) di torba e biochar di conifere:

- 100 % di torba,
- 90 % di torba-10% biochar,
- 70 % di torba-30% biochar,
- 50 % di torba-50% biochar.

Acqua, macro e micronutrienti sono stati forniti alle piante attraverso un sistema di fertirrigazione a goccia (1 gocciolatore/pianta, 2 litri h⁻¹) controllato da un computer. Tutti gli impianti sono stati alimentati con la stessa soluzione nutritiva, avente la seguente composizione: (mg l⁻¹): 180 N totale, P 50, 200 K, Ca 120, 30 Mg, 1,2 Fe, Cu 0.2, 0.2 Zn,

Mn 0,3, 0,2 B. Il pH e la conducibilità elettrica (CE) della soluzione nutritiva sono stati mantenuti rispettivamente a 5,8 e 1,8 mS cm⁻¹.

3.9 - Analisi chimico-fisiche

3.9.1 - Caratteristiche chimico-fisiche del biochar

Il biochar utilizzato nella prova sperimentale, deriva da porzioni legnose delle specie di: *Abies alba* M., *Larix decidua* Mill., *Picea excelsa* L., *Pinus nigra* e *Pinus sylvestris* A. L.. La matrice legnosa è stata pirolizzata ad una T di 450° C. Quindi, sono state analizzate le principali caratteristiche chimico-fisiche del substrato testato, come riportato nelle rispettive tabelle (Tab. 2 e Tab. 3).

Il pH è stato determinato, tramite un pH-metro (GLP 21, Crison, Italia), nella sospensione di un campione di 60 g disciolto in 300 ml di acqua deionizzata (dopo agitazione per 60 min a temperatura ambiente - 22 °C); mentre la conducibilità elettrica (CE) è stata misurata sullo stesso estratto d'acqua (1:5 v/v) (HI 4321, Hanna Instruments, Italia). Il contenuto in azoto totale (N) è stato determinato tramite combustione a secco utilizzando un analizzatore elementare (Carlo Erba Instruments, Italia), successivamente è stato corretto per il tenore di ceneri, ottenuto in un forno elettrico a muffola ad una temperatura di combustione di 600 °C.

Il contenuto totale di P, K, Ca, Mg e Na è stato determinato dopo la digestione acida in forno a microonde (CEM Mars Xpress, USA) utilizzando 0,2 g di campione secco (105 °C per 24 ore); i campioni del substrato, dopo la mineralizzazione, sono stati filtrati, diluiti e analizzati mediante spettrometria ad assorbimento atomico (Perkin-Elmer AAnalyst 200, USA).

3.9.2 - Analisi delle matrici

L'impianto è stato effettuato nel mese di gennaio 2013. Nel procedere della prova sperimentale, delle piante di *Citrus limon* allevate in vaso, sono stati eseguiti degli interventi di manutenzione durante le diverse fasi di sviluppo, finalizzate a fornire alle piante uno sviluppo vegetativo commercialmente apprezzabile ed una precoce fruttificazione. In particolare sono state effettuate delle consistenti potature di produzione (asportazione della quasi totalità della biomassa epigea della pianta) nel mese di settembre e novembre 2013, al fine di favorire la formazione di una adeguata chioma. Una ulteriore potatura leggera è stata eseguita ad aprile 2014, finalizzata ad indurre la pianta alla fioritura e quindi alla fruttificazione. Durante gli interventi di manutenzione sono stati effettuati diversi

campionamenti (riguardanti: l'apparato fogliare, l'apparato radicale e il substrato), con lo scopo di monitorare lo sviluppo delle piante durante le diverse fasi di crescita.

Durante la prova sperimentale, al fine di monitorare i ritmi di crescita delle piante sono state prelevate dieci piante dalla serra e tramite una analisi distruttiva sono state separate in: foglie, radici e suolo. In particolare, sono stati misurati e annotati i seguenti parametri: peso fresco e secco della pianta e del substrato. Il peso secco delle matrici è stato determinato dopo essiccazione in un forno ad aria forzata (rispettivamente: 48 ore a 70 °C per foglie e radici; 24 ore a 105 °C per il substrato) sino al raggiungimento di un peso costante.

Sulle matrici vegetali (foglie e radici) sono state, inoltre, eseguite le seguenti analisi:

- N : utilizzando il Metodo Kjeldahl;
- C : utilizzando il Metodo Walkley e Black.

Sul substrato sono state effettuate le seguenti analisi:

- N : utilizzando il Metodo Kjeldahl;
- C : utilizzando il Metodo Walkley e Black;
- P_2O_5 : utilizzando il Metodo Olsen.

3.9.2 - Analisi chimiche sull'assorbimento dei nutrienti

I residui di ioni metallici sia dei substrati che dei tessuti vegetali sono stati determinati mediante spettroscopia ad assorbimento atomico utilizzando un Shimadzu AA-6300 con fiamma (Milano, Italia). I campioni da sottoporre all'analisi spettroscopica sono stati ottenuti tramite digestione in un forno a microonde (CEM Mars 5 - Bergamo, Italia), seguendo la procedura descritta in Tranchina et al. (2008). Per la digestione dei campioni vegetali e del substrato sono stati utilizzati acido nitrico, acido perclorico e perossido di idrogeno.

3.10 - Risultati e discussione

3.10.1 - Crescita delle piante

La produzione di biomassa secca è stata significativamente influenzata dal contenuto di biochar nei substrati di coltivazione, ottenendo un maggiore indice di biomassa nelle piante cresciute con il 10 % e l'30 % di biochar (Tab. 9). Tale risultato è riscontrabile anche nel maggior rapporto C/N riscontrato nella tesi con il 10 % di biochar (Fig. 5).

Il calcio assolve un ruolo fondamentale nella stabilità della membrana cellulare, alte concentrazioni di questo elemento diminuiscono la degradazione dei pectati. Riguardo l'assorbimento dei nutrienti, nel corso della fase vegetativa (primo rilievo), si è registrato un

più alto contenuto in Ca^{++} nelle tesi contenenti biochar (Fig. 6); ciò ha favorito un ottimale sviluppo delle piante. Nella fase riproduttiva (secondo rilievo), il contenuto di Ca^{++} si è mantenuto costante nelle diverse tesi.

Il rame è responsabile dell'attivazione di un gran numero di enzimi con molteplici funzioni e proprietà: metabolismo proteico e dei carboidrati, stabilizzazione della clorofilla. Un più alto contenuto di Cu^{++} è stato riscontrato durante il 2° rilievo nelle tesi con 10 e 30 % di biochar, fattore importante per una futura induzione a fiore (Fig. 7).

Il ruolo del potassio nei vegetali è collegato alla sua presenza nella soluzione cellulare (trovandosi nei vacuoli). Questo elemento svolge molteplici funzioni: attiva alcuni enzimi, regola l'equilibrio osmotico ed il processo fotosintetico. Nell'esperimento condotto, il K^+ non ha fatto registrare differenze significative di assorbimento nell'apparato fogliare (Fig 9). Mentre, per l'apparato radicale si sono registrati livelli inferiori di assimilazione per le tesi contenenti biochar. Effetto dovuto, probabilmente, all'antagonismo dell'elemento con il Ca^{++} .

Buone dotazioni di Mg^{++} sono indispensabili, poiché tale elemento è contenuto nella clorofilla ed inoltre svolge una funzione essenziale nella sintesi proteica. Durante la fase vegetativa, i livelli più alti di Mg^{++} si sono registrati nelle tesi contenenti il 30 e 50 % di biochar (Fig. 10).

Na^+ e Mn^{++} hanno fatto registrare differenze, ottenendo un più alto contenuto nelle radici delle tesi con torba e 10 % di biochar (Fig. 11 e 12). Il basso tenore in manganese può essere spiegato tramite la sua ridotta mobilità nelle piante e da un pH più alto nei substrati contenenti biochar.

Lo Zn^{++} è implicato nella sintesi del triptofano, precursore delle auxine, stimola le attività enzimatiche, il metabolismo azotato, quindi elemento importante per un corretto sviluppo della pianta. Nella prova sperimentale, il contenuto di Zn^{++} nelle piante non è stato influenzato negativamente dall'uso del biochar come substrato. La maggiore concentrazione è stata registrata nell'apparato fogliare della tesi con il 50% di biochar (Fig. 13).

Il ferro nei vegetali è un costituente delle metallo-proteine, assolvendo funzioni di catalisi dei processi di respirazione e formazione della clorofilla. Nella presente prova sperimentale, si sono registrati negli apparati radicali livelli di assorbimento del Fe maggiori nelle tesi contenenti il 10 e 30 % di biochar (Fig. 8).

L'incremento produttivo della biomassa registrato nel nostro esperimento è probabilmente legato alle migliori condizioni idriche del substrato con il 10% di biochar e alla sua struttura, rispetto al substrato composto solo dalla torba. Lehmann e Rondon (2006) hanno riportato, dopo l'aggiunta di biochar nel substrato, un miglioramento delle capacità idriche

e della struttura del suolo. Karhu et al. (2011) riferiscono come il biochar addizionato al terreno agricolo possa aumentare la capacità di ritenzione idrica del 11 %.

L'apporto di sostanze nutritive durante l'intero ciclo alle piante coltivate con il 10 e 30 % di biochar, ha fatto sì che le piante si sviluppassero in un ambiente idoneo. Utilizzando il biochar come substrato di coltivazione, si sono ottenute piante con buone caratteristiche ornamentali e commerciali (Foto 8 e 9).



Foto 8 – Piante di Citrus limon coltivate con il 10 % di biochar



Foto 9 – Piante di Citrus limon coltivate con il 10 % di biochar

3.11 – Conclusioni

I risultati ottenuti nelle prove sperimentali dimostrano come un substrato di coltivazione contenente il 60% di biochar nella coltura di Euphorbia x lomi e del 10-30% nella coltura di Citrus limon, determini effetti positivi sulla crescita e sull'aspetto estetico delle piante in vaso. Tale influenza è deducibile dal numero di germogli e di foglie, dall'area fogliare, dalla lunghezza delle radici, dal contenuto di clorofilla nelle foglie e dal loro colore, nonché dagli indici di biomassa prodotta. La combinazione tra torba e biochar ha avuto un effetto positivo sulla prova, conferendo una maggiore efficacia nel migliorare la qualità ornamentale delle piante. Questo risultato può essere spiegato sulla base delle migliori caratteristiche fisiche di questo particolare substrato, determinate da un pH vicino alla

neutralità chimica, una CE moderata, un buon contenuto di sostanze nutritive (con basso contenuto di Na), nonché un migliore equilibrio nei tenori d'acqua e di aria. Di conseguenza, le performance registrate nelle piante di *Euphorbia x lomi* coltivate con il 100% di torba e in secondo luogo con il 100% di biochar sono legate ad una profonda modifica delle principali proprietà chimiche e fisiche del substrato. Pertanto, la percentuale di applicazione del biochar dipende dai tipi di suolo e della coltura. Infatti, se i nostri risultati sembrano confermare che l'aggiunta del biochar al substrato di crescita apporta effetti benefici, bisogna prestare attenzione alla percentuale di biochar da aggiungere, al fine di evitare effetti negativi.

Questo studio è un tentativo atto a valutare le potenzialità del biochar, come componente dei substrati per la floricoltura sostenibile, anche se sono necessari ulteriori approfondimenti per osservare gli effetti con altri substrati di coltivazione e specie ornamentali.

Bibliografia

Albano J.; Miller, W.B. (1995). Light degrades iron-chelates in fertilizer solutions, affecting physiology of iron acquisition in Marigold (*Tagetes erecta* L.). In: SOUTHERN NURSERYMEN'S ASSOCIATION RESEARCH CONFERENCE, 40, Marietta, GA.

Almeida, T.R.P.; Leonel, S.; Grassi Filho, H. Análise do crescimento de mudas cítricas em função do substrato e do fornecimento de cobre II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado - RS. Anais... Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007,a (CD-Rom).

Almeida, T.R.P.; Leonel, S.; Grassi Filho, H. Crescimento de mudas cítricas em substrato de fibra de coco e o fornecimento de cobre via fertirrigação e foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado - RS. Anais... Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007,b (CD-Rom).

Altland JE, Locke JC (2012). Biochar affects macronutrient leaching from a soilless substrate HortScience 47(8):1136-1140.

Ansorena M. J. (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi Prensa. Madrid. Espana.

Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research 111:81-84.

Ballester-Olmos, J.F.; Cantò, M.R; Monteagudo, A.; Pina, J.A.; Molin, M.I. (1992). Fertilizantes de liberación lenta preparados a base de sustancias minerales recubiertas, I: Características y dinámica por efecto del medio ambiente. Agrícola Vergel, p.372-382, jun.

Bañuls, J.; Quiñones, A.; Martín, B.; Primo-, E.; Legaz, F. (2003). Effects of the frequency of iron chelate supply by fertigation on iron chlorosis in citrus. Journal of Plant Nutrition, v.26, p.1985-1996.

Baronti S, Alberti G, Delle Vedove G, Di Gennaro F, Fellet G, Genesio L, Miglietta F, Peressotti A, Vaccari FP (2010). The biochar option to improve plant yields: first results from some field and pot experiments in Italy. *Ital J Agron* 5:3-11.

Barroso, D. G.; Carneiro, J. G. A.; Leles, P. S. S. (2000). Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla* produzidas em tubetes e em blocos prensados, com diferentes substratos. *Floresta e Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 238- 250.

Bernardi, A.C. de C. Produção de mudas de citros em vasos em função da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. Piracicaba, 1999. 84p. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, Universidade de São Paulo.

Bernardi, A. C. C.; Carmello, Q. A. C.; Cervalho, S. A. (2000). Desenvolvimento de mudas de citrus cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. *Scientia Agricola*, v. 57, n. 4, p. 733-738..

Bibbiani C. (1996). Le proprietà fisiche e idrauliche dei substrati. *Flortecnica* 3, 45-55.

Boaventura, P. S. R. Demanda por nutrientes de porta-enxertos e mudas cítricas produzidas em substrato em ambiente protegido. 2003. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2003.

Broschat, T.K. (1995). Nitrate, phosphate and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods. *HortScience*, Alexandria v.30, n.1, p.74- 77.

Bunt A.C. (1988). Media and mixes for container grown plants. 2º Ed. Unwin Hyman Ltd., London.

Cabrera R.I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo-Serie Horticultura*. 5(1): 5-11.

Calabrese F., De Michele A. (1995). Il vivaismo agrumicolo ornamentale in Sicilia. *Riv. di Frutticoltura*, 9: 63-67.

Calderón F.S. (2002). La cascarilla de arroz “caolinizada”; una alternative para mejorar la retencion de humedad como sustrato para cultivos hidroponicos. Bogotá D.C., Colombia S-A.

Cattivello C. (1990). Valutazione analitiche sulle principali torbe di sfagno commercializzate nel nostro paese. L'informatore agrario 30/90.

Cervelho, S. A.; Souza, M. (1996). Doses e freqüência de aplicação de nitrato de potássio no crescimento do limoeiro- 'Cravo' e da tangerineira-'Cleópatra' em bandejas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 31, n. 11, p. 815-822.

Castle W.S.. Rouse R.E. (1990). Total mineral nutrient content of Flórida citrus nursery plants. Proceedings of Flórida State Horticultrual Society, v. 103, p.42- 4.

Castle, W. S. (1995). Rootstock as a fruit quality factor in citrus and decidous tree crops. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, v. 23, n. 6. p. 383-394.

Chan KY, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A, Joseph S (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Aust J Soil Res 45: 629-634.

Conte P., Marsala V., De Pasquale C., Bubici S., Valagussa M., Pozzi A., Alonzo G., (2013). Nature of water-biochar interface interaction. GCB Bioenergy 5:116 – 121.

Cox, D.A. (1993). Reducing nitrogen leaching-losses from containerized plants: the effectiveness of controlled-release fertilizers. Journal of Nutrition, Philadelphia, 16(3), p.533-545.

Dasberg, S. Análises foliares de citrus em Israel. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITRUS-NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO, 4., 1996, Campinas. Anais, Campinas: Fundação Cargill, 1996. p. 41-50. (cidade do evento e numeração do evento).

Decarlos Neto, A. et al. (2002). Crescimento de porta-enxertos de citrus em tubetes influenciados por doses de N. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 24, n.1, p. 199-203.

De Pasquale C, Marsala V, Berns AE, Valagussa M, Pozzi A, Alonzo G, Conte P (2012). Fast field cycling NMR relaxometry characterization of biochars obtained from an industrial thermochemical process. *J Soils Sediments* 12(8):1211–1221.

Duenhas, L. H. et al. (2005). Produção, qualidade dos frutos e estado nutricional da laranja valência sob fertirrigação e adubação convencional. *Engenharia Agrícola*, v. 25, p. 154-160.

Erickson C., (2003). Historical ecology and future explorations. In: Lehmann J., Kern D. C., Glaser B., Woods W. I. (eds.), “Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management”, 455-500. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Esposti, M. D. D.; Siqueira, D. L. (2004). Doses de uréia no crescimento de porta-enxerto de citros produzidos em recipientes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 1, p. 136-139.

Falcão N. P. D. S., Comerford N., Lehmann J., (2003). Determining nutrient bioavailability of Amazonian Dark Earth soils – methodological challenges. In: Lehmann J., Kern D. C., Glaser B., Woods W. I. (eds.), “Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management”, 255-270. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Fascella G., Zizzo G. (2009). Efficient Propagation Technique of Euphorbia ‘lomi Thai Hybrids. *HORTSCIENCE* 44(2):495–498. 2009.

Fernandes, J.C.; Henriques, F.S. Biochemical, physiological and structural effects of excess copper in plants. *The Botanical Review*, v.57, p.246-273, 1991.

Fowles M. (2007). Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. *Biomass Bioenergy* 31:426–432.

Gaskin JW, Speir A, Morris LM, Ogden L, Harris K, Lee D, Das KC (2007). Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of loamy sand soil. In: Georgia Water Resources Conference. University of Georgia, USA.

Gazzetta Ufficiale n. 121 del 26 maggio 2010.

German L. A., (2002). Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth, *Geoderma* 111 (2003) 307–331.

Giardini L.(1977). *Agronomia generale*. Patron Editore. Bologna.

Gilbert, S.G. (1951). A biochemical basis for copper-nitrogen balance in tung. *Plant Physiology*, v.26, n.2, p.298-405.

Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W., 2001. The ‘Terra Preta’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41.

Glaser B, Lehmann J, Zech W (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biol Fertil Soils* 35:219- 230.

Glaser B., Zech W., Wood W. I., (2004). History, current knowledge and future perspectives of geocological research concerning the origin of amazonian anthropogenic dark earths (terra preta), in: “Amazonian dark earths: explorations in space and time”, Glaser B. & Woods W. I. (eds.), Springer-Verlag, Germany.

Graf, A.B 1985. *Exotica*. Vol. I. Roehrs Company, East Rutherford, NJ.

Grigatti M, Giorgioni ME, Ciavatta C (2007). Compost-based growing media: influence on growth and nutrient use of bedding plants. *Bioresource Technology* 98: 3526–3534.

Guerrero F, Gasco JM, Hernandez-Apaolaza L (2002). Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. *J. Plant Nutr* 25: 129–141.

Hossain MK, Strezov V, Yin Chan K, Nelson PF (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78:1167-1171.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: “Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen,

M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ISTAT – Dati V° censimento dell'agricoltura. www.istat.it.

Jones DL, Rousk J, Edwards-Jones G, DeLuca TH, Murphy DV (2012). Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry* 45:113–124.

Jouët, J.P., (2002). Plastics in the world. *Plasticulture* 120: 108-126.

Karami N, Clemente R, Moreno-Jiménez E, Lepp NW., Beesley L (2011). Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. *J Hazardous Materials* 191(1–3):41–48.

Karhu K, Mattila T, Bergström I, Regina K (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140(1–2):309–313.

Kuhlbusch T. A. J., Andreae M. O., Cachier H., Goldammer J. G., Lacaux J. P., Shea R. C., Crutzen P. J., (1996). Black carbon formation by savanna fires: measurements and implications for the global carbon cycle. *J Geophys Res* 101:23651–23665.

Laine, J., Simoni, S. and Calles, R. (1991) 'Preparation of activated carbon from coconut shell in a small scale concurrent flow rotary kiln', *Chemical Engineering Communications*, vol. 99, pp15-23.

Laird DA (2008). The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agron J* 100: 178–181.

Lehmann J, Da Silva JP, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* 249:343-357.

Lehmann J, Rondon M (2006). Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, Uphoff N (ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp 517-530.

Lehmann J (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:381-387.

Lehmann J, Joseph S (2009). Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, London, 1–13l.

Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Maciello AC, Hockaday WC, Crowley D (2011). Biochar effects on soil biota – A review, Elsevier Ltd.

Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J, Grossman J, O'Neill B, Skjemstad JO, Thies J, Luizao FJ, Petersen J, Neves EG (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci Soc Am J* 70:1719-1730.

Lima, J. E. O. (1986). Novas técnicas de produção de mudas cítricas. *Laranja*, v. 7, n. 2, p. 463-468.

Lucena, J.J., Manzanares, M., Gárate, A. (1992). A teste to evaluate the efficacy of commercial Fe-chelates using a new test. *Journal of Plant Nutrition*, v. 15 n. 10. p.1995-2006.

Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. DE. (2007). Avaliação do estado nutricional das plantas princípios e aplicações. *Potafos*, 2ªed. p. 67-114.

Malorgio F. – Le colture fuori suolo per le produzioni floricole di serra. – *Quaderno Arsia* 5/2004.

Mann C., (2002). The real dirt on rainforest fertility, *Science* (2002): Vol. 297 no. 5583, pp. 920 – 923.

Marschner H., Kirkby E.A., Cakmak I., (1996). Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 47,.Special Issue, pp. 1255-1263.

Mikan CJ, Abrams MD (1985). Altered forest composition and soil properties of historic charcoal hearths in southeastern Pennsylvania. *Can J Forest Res* 25:687-696.

Nelson P.V. (2003). *Greenhouse Operation & Management*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Novak JM, Busscher WJ, Watts DW, Laird DA, Ahmedna MA, Niandou MAS (2010). Short-term CO₂ mineralization after additions of biochar and switchgrass to a Typic Kandudult. *Geoderma* 154:281-288.

O'Neill B., Grossman J., Tsai S. M., Gomes J. E., Garcia C. E., Solomon D., Liang B., Lehmann J., Thies J., (2006). Isolating Unique Bacteria from Terra Preta Systems: Using Culturing and Molecular Techniques as Tools for Characterizing Microbial Life in Amazonian Dark Earths . In "World Congress of Soil Science", 9-14 July 2006, Philadelphia. Abstract 18480, poster 133-16.

Ouyang L, Wang F, Tang J, Yu L, Zhang R (2013). Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties *J Soil Sci Plant Nutr* 13(4):991-1002.

Perelli M., Graziano P.L. e Calzavara R. (2009). *Nutrire le piante*. Arvan. Mira (VE).

Petitjean M.F., 2001. Quality and eco-certification: how to find your way. *FloraCulture Intem* 11: 26-30.

Pimpini F. (2004). *Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo*. Veneto Agricoltura.

PSR Sicilia 2007-2013 v1 r5 allegato 4 - Analisi filiere regionali.

Quaggio, J. A. et al. (2004). Laranjas-doce sobre diferentes porta-enxertos adubadas com nitrogênio, fósforo e potássio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 1, p. 55-60.

Recupero S., Russo G., Caruso A., Reforgiato Recupero G., Terranova G. (2000). Il vivaismo agrumicolo ornamentale: situazione attuale e attività di ricerca. Riv. di Frutticoltura, 1: 18-23.

Reed D. Wm. (1996). Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops. Ball Publishing, Batavia, Illinois USA.

Reese, R. L.; Koo, R. C. J. (1975). Effects of N and K fertilization on leaf analysis, tree size and yield of three major Florida orange cultivars. Journal of the American Society for Horticultural Science, v. 100, n. 1, p. 195-198.

Reitz, H.J.; Koo, P.C.J. (1960). Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield, fruit quality, and leaf analysis of Valência orange. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, v.59, p.1-12.

Rezende C. F.A., Fernandes E.P., M. F. da Silva, W.M. Leandro .Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. Biosci. J., Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 367-375, May/June 2010.

Riva F., Tittarelli F. e Canali S. 2008. Cercasi sostituti alla torba per il vivaismo biologico. L'Informatore Agrario 24/2008.

Römheld, V. (2001). Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p.71-86.

Rondon MA, Lehmann J, Ramírez J, Hurtado M (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. Biol Fertil Soils 43:699-708.

Rosenani AB, Ahmad SH, Nurul Adila S, Tan Wei Loon (2014). Biochar as a soil amendment to improve crop yield and soil carbon sequestration. Acta Hort 1018:203-209.

Schafer, G. et al. (2006). Desenvolvimento vegetativo inicial de porta-enxertos cítricos cultivados em diferentes substratos. Ciência Rural, v. 36, n. 1, p. 1723-1729.

Schimel, D. et al. (1995): in *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* Ch. 2, Houghton, J. T. et al. eds. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Schimmenti E., Di Franco C.P., Galati A., Martinello S.A. – Aspetti economici del vivaismo agrumicolo ornamentale siciliano. Relazione presentata alla giornata di studio sugli agrumi ornamentali in vaso – Terme Vigliatore (ME), 3 novembre 2007.

Schwarz M., 2001. Opening remarks. *Acta Hortic.* 554: 23-25.

Smith, P.F. (1966). Citrus nutrition. In: CHILDERS, N.P. (Ed.). *Nutrition of fruit crops: tropical, subtropical, temperate tree and small fruits*. 3.ed. Somerville: Somerset Press, v.1, cap. 7, p.174-207.

Sombroek W, Ruivo ML, Fearnside PM, Glaser B, Lehmann J, 2003. Amazonian Dark Earths as Carbon Stores and Sinks. In: Lehmann J, Kern D, Glaser B, Woods W (Eds.) “Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, and Management”. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands: 125-140.

Sonneveld C., (2000). Effect of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. Ph.D. Thesis, Wageningen University.

Steiner C., Teixeira W. G., Lehmann J., Zech W., (2004). Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia – preliminary results. In: B. Glaser, Woods W. (eds.), “Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time”, 195-212. Springer-Verlag, Germany.

Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls T, Luis J, De Macedo LV, Blum WEH, Zech W (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central Amazonian upland soil. *Plant Soil* 291:275-290.

Suppadit T, Kitikoon V, Phubphol A, Neumnoi P (2012) Effect of quail litter biochar on productivity of four new physic nut varieties planted in cadmium-contaminated soil. *Chilean J Agricultural Research* 72(1):125-132.

Tecchio, M. A.; Leonel, S; Lima. C. P.; Villas Boas, R. L.; Almeida, E. L. P.; Corrêa, J. C. (2006). Crescimento e acúmulo de nutrientes no porta-enxerto citrumelo 'Swingle', cultivado em substrato. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 37-44.

Tesi R. (2008) – Colture protette - Ortoflorovivaismo in ambiente mediterraneo. 6° Ed. Il Sole 24 Ore. Edagricole, Milano.

Tian Y, Sun X, Li S, Wang H, Wang L, Cao J, Zhang L (2012). Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for *Calathea rotundifolia* cv. Fasciata. Scientia Hort 143:15–18.

Tranchina L, Basile S, Brai M, Caruso A, Cosentino C, Micciché S (2008). Distribution of heavy metals in 459 marine sediments of Palermo gulf (Sicily, Italy). Water Air Soil Pollut 191:245–256.

Van Zwieten L, Kimber S, Sinclair K, Chan KY, Downie A (2008). Biochar: Potential for climate change mitigation, improved yield and soil health. In: New South Wales Grassland Conference.

Wildrnan, J. and Derbyshire, E (1991) 'Origins and functions of macroporosity in activated carbons from coal and wood precursors', Fuel, vol. 70, pp655-661.

Yamato M, Okimori Y, Wibowo IF, Anshori S, Ogawa M (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. Soil Sci Plant Nutr 52:489-495.

Yunta, F.; Sierra, M.A.; Gómez-Gallero, M.; Alcazár, R.; García-Marco, S.; Lucena, J.J. Methodology to screen new iron chelates: prediction of their behavior in nutrient solution and soil conditions. Journal of Plant Nutrition, v.26, p.1955-1968, 2003a.

Zech W, Haumaier L, Hempfling R (1990). Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCarthy P, Clapp CE, Malcolm RL, Bloom PR (eds) “Humic substances in soil and crop sciences: selected readings”. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wis., pp 187–202.

Zeebe R. E., Zachos J. C., Caldeira K., Tyrrell T., (2008). Carbon emissions and acidification, Science, vol. 321, 4 july 2008.

Zaccheo P, Crippa L, Cattivello C (2014). Liming power of different particle fractions of biochar. Acta Hort 1034:363-368.

TABELLE

Tabella 1: Ripartizione territoriale delle superfici florovivaistiche (*)

| Province | Floricoltura | | Vivaismo | | Florovivaismo | |
|---------------|--------------|-------|----------|-------|---------------|-------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| AGRIGENTO | 41.51 | 4.1 | 106.70 | 6.9 | 148.21 | 5.8 |
| CALTANISSETTA | 11.54 | 1.1 | 116.11 | 7.5 | 127.65 | 5.0 |
| CATANIA | 197.52 | 19.4 | 315.73 | 20.3 | 513.25 | 20.0 |
| ENNA | 14.74 | 1.4 | 27.61 | 1.8 | 42.35 | 1.6 |
| MESSINA | 186.21 | 18.3 | 330.37 | 21.3 | 516.58 | 20.1 |
| PALERMO | 22.10 | 2.3 | 113.42 | 7.3 | 135.52 | 5.3 |
| RAGUSA | 385.11 | 37.8 | 126.26 | 8.1 | 511.37 | 19.9 |
| SIRACUSA | 41.52 | 4.1 | 103.13 | 6.6 | 144.65 | 5.6 |
| TRAPANI | 117.51 | 11.5 | 313.07 | 20.2 | 430.58 | 16.7 |
| SICILIA | 1.017.76 | 100.0 | 1.552.40 | 100.0 | 2.570.16 | 100.0 |

(*) Fonte: elaborazione su dati ISTAT - Statistiche dell'Agricoltura, Dati V° Censimento Generale dell'Agricoltura.

Tabella 2: Caratteristiche chimiche dei substrati di coltivazione addizionati con biochar.

| Tesi | pH | EC*** | N** | P | K | Ca | Mg | Na |
|------------------|-----------|--------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| A (0 %) | 5.7* d | 46 a | 103.1 a | 29.3 a | 115 b | 105 a | 37.5 a | 19.5 a |
| B (20 %) | 6.4 cd | 16 c | 15.9 b | 8.5 c | 102.5 b | 17 c | 15 b | 14 b |
| C (40 %) | 6.7 c | 15 c | 24.5 c | 18.6 b | 132.5 a | 23 bc | 5.5 c | 9.5 c |
| D (60 %) | 7.3 bc | 24 b | 31.2 b | 14.9 b | 132.5 a | 50 b | 18 b | 11.5 bc |
| E (80 %) | 7.9 b | 25 b | 36.9 b | 4.6 c | 140 a | 67.5 b | 18 b | 15.5 b |
| F (100 %) | 9.5 a | 14 c | 30.4 b | 3.8 c | 132.5 a | 15.5 c | 6.5 c | 7 c |

* In ogni colonna, le differenti lettere hanno una significatività pari a $p < 0.05$ (DMRT).

** gli ioni contenuti sono espressi in mg l^{-1} .

*** I valori della CE sono espressi in mS m^{-1} .

Tabella 3: Caratteristiche fisiche dei substrati di coltivazione addizionati con biochar.

| Tesi (%biochar) | Contenuto acqua pF1 | Contenuto acqua pF2 | Contenuto aria pF1 | Contenuto aria pF2 | Porosità | Densità particelle | Densità apparente |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| A (0 %) | 78.7* a | 38.7 a | 12.7 b | 52 a | 90.7 a | 1605 d | 318 d |
| B (20 %) | 76.3 a | 38.9 a | 10.5 b | 47.9 ab | 86.8 ab | 1630 cd | 350 cd |
| C (40 %) | 68.5 b | 38.3 a | 12.3 b | 42.3 b | 80.8 b | 1670 c | 419 c |
| D (60 %) | 57.5 c | 34.8 ab | 22.6 a | 45.4 ab | 80.1 b | 1780 b | 485 bc |
| E (80 %) | 53.2 cd | 33.4 ab | 22.2 a | 42 b | 75.5 a | 1830 ab | 525 b |
| F (100 %) | 49.1 d | 29.3 b | 26.4 a | 46.1 ab | 74.9 ab | 1860 a | 642 a |

* In ogni colonna, le differenti lettere hanno una significatività pari a $p < 0.05$ (DMRT).

Tabella 4: Effetto del biochar nei substrati di coltivazione sulla crescita e sulle caratteristiche di piante in vaso di *Euphorbia x lomi*.

| Contenuto di biochar | Altezza piante (cm) | Diametro steli (cm) | Numero foglie | Area fogliare (cm ²) | Numero germogli | Lunghezza radici (cm) | Radici/Germogli | WUE |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------|
| A (0 %) | 10.8* b | 1.2 b | 29.3 c | 426.2 d | 2.2 d | 11.7 b | 0.22 c | 0.29 c |
| B (20 %) | 11.2 b | 1.4 b | 39.8 bc | 465.3 cd | 3.1 c | 12.8 b | 0.34 bc | 0.33 c |
| C (40 %) | 13.9 a | 1.8 a | 44.8 b | 568.5 c | 4.6 b | 13 b | 0.39 bc | 0.64 b |
| D (60 %) | 14.7 a | 2 a | 61.1 a | 897.3 a | 5.9 a | 16.9 a | 0.46 b | 1.1 a |
| E (80 %) | 14 a | 1.7 ab | 46.1 b | 736.8 b | 4.1 b | 16.4 a | 0.54 a | 0.85 ab |
| F (100 %) | 12.1 b | 1.6 ab | 41.9 bc | 519.9 cd | 2.9 c | 15.8 a | 0.58 a | 0.4 bc |

* In ogni colonna, le differenti lettere hanno una significatività pari a $p < 0.05$ (DMRT).

Tabella 5: Effetto del biochar sul contenuto di clorofilla (SPAD) e sul colore delle piante di Euphorbia x lomi allevate in vaso.

| Contenuto di biochar | SPAD | L | Saturazione | H (tono) |
|-----------------------------|-------------|----------|--------------------|-----------------|
| A (0 %) | 42.6* b | 35.6 b | -13.1 a | 17.4 b |
| B (20 %) | 44.3 b | 36.2 b | -13.3 a | 18.5 b |
| C (40 %) | 47.7 b | 37.4 b | -14.8 a | 19.7 ab |
| D (60 %) | 54.7 a | 36 b | -16.5 a | 20.5 ab |
| E (80 %) | 53.1 a | 40.1 ab | -15.6 a | 24.6 a |
| F (100 %) | 46.4 b | 44.3 a | -13 a | 17.8 b |

* In ogni colonna, le differenti lettere hanno una significatività pari a $p < 0.05$ (DMRT).

Tabella 6: Effetto del contenuto di biochar nei substrati di coltivazione sul contenuto di nutrienti delle foglie, steli e radici di Euphorbia x lomi allevate in vaso. Le misurazioni sono riferite a 60 e 90 giorni dopo il trapianto (DAP).

| Contenuto in biochar | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|------|-----|-----|-----|-------|------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|------|
| | K | Ca | Mg | Zn | Na | Fe | Cu | Mn | K | Ca | Mg | Zn | Na | Fe | Cu | Mn |
| | 60 DAP | | | | | | | | 90 DAP | | | | | | | |
| | Foglie | | | | | | | | Foglie | | | | | | | |
| 40% | 21.6 | 9.9 | 4.0 | 4.0 | 1.8 | 202.1 | 6.3 | 46.2 | 0.1 | 1.5 | 0.6 | 0.0 | 0.5 | 3.3 | 0.1 | 21.0 |
| 60% | 20.1 | 10.9 | 3.8 | 2.0 | 2.9 | 80.3 | 13.4 | 25.0 | 4.4 | 1.7 | 0.7 | 0.0 | 0.4 | 51.7 | 0.1 | 18.4 |
| 80% | 18.7 | 10.6 | 3.7 | 6.8 | 1.5 | 99.3 | 10.5 | 27.1 | 4.6 | 1.9 | 0.5 | 0.0 | 0.4 | 120.3 | 0.1 | 17.6 |
| 100% | 18.4 | 8.6 | 3.4 | 4.7 | 5.3 | 97.2 | 15.3 | 36.8 | 4.5 | 2.2 | 0.8 | 0.0 | 0.4 | 42.0 | 0.2 | 14.3 |
| | Fusti | | | | | | | | Fusti | | | | | | | |
| 40% | 16.2 | 17.9 | 4.8 | 0.1 | 0.8 | 169.6 | 10.4 | 45.1 | 3.7 | 3.5 | 0.8 | 5.8 | 0.1 | 13.4 | 0.2 | 12.9 |
| 60% | 12.6 | 17.3 | 3.5 | 0.1 | 3.7 | 123.5 | 7.1 | 24.4 | 3.7 | 2.8 | 0.7 | 2.7 | 0.2 | 10.9 | 0.5 | 8.5 |
| 80% | 13.3 | 19.3 | 4.0 | 0.1 | 2.7 | 142.8 | 6.9 | 33.0 | 3.6 | 4.2 | 0.9 | 5.7 | 0.1 | 21.1 | 0.4 | 8.6 |
| 100% | 17.0 | 15.2 | 3.2 | 0.1 | 5.5 | 80.1 | 8.5 | 37.6 | 4.3 | 3.9 | 0.7 | 4.2 | 0.2 | 13.7 | 0.4 | 8.8 |
| | Radici | | | | | | | | Radici | | | | | | | |
| 40% | 11.5 | 5.7 | 2.9 | 1.8 | 5.6 | 625.6 | 21.8 | 44.4 | 3.8 | 0.6 | 0.7 | 0.0 | 0.8 | 225.5 | 1.8 | 9.5 |
| 60% | 11.3 | 6.8 | 2.6 | 2.0 | 5.9 | 716.9 | 20.7 | 37.3 | 3.4 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.4 | 34.2 | 0.5 | 2.3 |
| 80% | 13.8 | 4.3 | 3.2 | 2.7 | 7.0 | 443.6 | 21.9 | 27.4 | 3.4 | 0.1 | 0.5 | 0.0 | 0.6 | 69.2 | 0.6 | 0.8 |
| 100% | 11.6 | 4.6 | 2.4 | 2.0 | 8.7 | 670.0 | 33.0 | 35.7 | 3.2 | 0.1 | 0.4 | 0.0 | 0.8 | 28.5 | 2.0 | n.d |

Il contenuto in K, Ca, Mg, Zn e Na sono espressi in mg/g; Fe, Cu e Mn in µg/g

Tabella 7: Rappresentazione numerica del vettore u (t e t+1, tempo di campionamento).

| Tesi (% biochar) | Componenti principali (t) | | | Componenti principali (t+1) | | |
|---------------------|---------------------------|-------|--------|-----------------------------|-------|--------|
| | Foglie | Fusti | Radici | Foglie | Fusti | Radici |
| C (40 %) | 3 | 2 | 2-3 | 3 | 2 | 1-3 |
| D (60 %) | 3 | 3 | 1 | 2-3 | 2-3 | 3 |
| E (80 %) | 1 | 1 | 1-2 | 1 | 1 | 2 |
| F (100 %) | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 |

Tabella 8: Rappresentazione numerica del vettore v (a, b, c);

*valori rappresentativi all'interno della variabilità (t e t + 1 indicano il tempo di campionamento)

(a)

| | Foglie (t) | | | Foglie (t+1) | | |
|----------------------|------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC1 | PC2 | PC3 |
| Na | 0.316* | 0.012 | 0.302* | -0.233* | -0.348* | 0.180* |
| K | -0.219* | -0.345* | 0.284* | 0.132 | 0.438* | 0.344* |
| Ca | -0.307* | 0.223* | 0.054 | 0.279* | 0.262* | -0.116 |
| Mg | -0.291* | -0.257* | 0.121 | 0.237* | -0.263* | 0.506* |
| Zn | 0.047 | 0.057 | -0.777* | 0.278* | -0.207* | -0.374* |
| Fe | -0.108 | -0.474* | -0.136 | -0.021 | 0.492* | -0.278* |
| Cu | 0.238* | 0.320* | 0.270* | 0.291* | 0.149 | 0.386* |
| Mn | 0.042 | -0.503* | -0.083 | -0.294* | -0.217* | -0.107 |
| N. foglie | -0.255* | 0.332* | -0.105 | -0.240* | 0.344* | 0.092 |
| Area fogliare | -0.317* | 0.084 | 0.267* | -0.305* | 0.033 | 0.397* |
| N. germogli | -0.330* | 0.101 | -0.140 | -0.313* | 0.138 | -0.125 |
| Peso secco foglie | -0.334* | 0.107 | -0.053 | -0.318* | 0.124 | -0.006 |
| SPAD | -0.332* | -0.123 | 0.058 | -0.319* | -0.116 | -0.029 |

(b)

| | Fusti (t) | | | Fusti (t+1) | | |
|---------------------|-----------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC1 | PC2 | PC3 |
| Na | 0.327* | 0.260* | -0.010 | -0.391* | 0.176* | -0.048 |
| K | 0.251* | -0.348* | 0.184 | -0.403* | -0.113 | -0.122 |
| Ca | -0.339* | -0.018 | -0.528* | -0.043 | -0.472* | 0.103 |
| Mg | -0.264* | -0.345* | 0.011 | 0.269* | -0.326* | 0.254* |
| Zn | 0.069 | -0.450* | -0.167* | 0.200* | -0.401* | -0.192* |
| Fe | -0.354* | -0.206* | -0.033 | 0.139 | -0.383* | 0.353* |
| Cu | 0.019 | -0.413* | 0.461 | -0.186* | 0.159* | 0.585* |
| Mn | 0.053 | -0.459* | -0.009 | 0.194* | -0.053 | -0.618* |
| Altezza steli | -0.395* | 0.009 | 0.071 | 0.399* | 0.153* | 0.027 |
| Diametro stelo | -0.235* | 0.230* | 0.650* | 0.155* | 0.445* | 0.038 |
| Peso secco steli | -0.396* | 0.009 | -0.010 | 0.406* | 0.124 | 0.059 |

(c)

| | Radici (t) | | | Radici (t+1) | | |
|----------------------|------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC1 | PC2 | PC3 |
| Na | -0.099 | 0.479* | -0.195* | 0.323* | 0.298* | -0.406* |
| K | 0.392* | 0.218* | 0.054 | 0.307* | -0.335* | 0.213* |
| Ca | -0.121 | -0.470* | -0.200* | 0.391* | -0.102 | 0.218* |
| Mg | 0.374* | -0.065 | 0.360* | 0.307* | -0.326* | 0.423* |
| Zn | 0.395* | 0.183* | -0.158* | 0.387* | -0.105 | -0.365* |
| Fe | -0.366* | -0.207* | -0.260* | 0.376* | -0.181* | 0.073 |
| Cu | -0.259* | 0.403* | -0.098 | 0.255* | 0.402* | 0.300* |
| Mn | -0.306* | -0.283* | 0.323 | - | - | - |
| Lunghezza radici | 0.110 | -0.052 | -0.705* | -0.391* | -0.081 | 0.346* |
| Peso secco radici | 0.355* | -0.294* | 0.022 | -0.054 | -0.514* | -0.463* |

Tabella 9: Effetto del biochar sull'indice di biomassa (riferito alle foglie) nella coltura in vaso della specie Citrus limon.

| | Indice di biomassa | | | |
|------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| | torba | 10% biochar | 30% biochar | 50% biochar |
| 1° rilievo | 2,91 | 2,83 | 2,73 | 2,74 |
| 2° rilievo | 2,37 | 2,41 | 2,14 | 2,33 |
| 3° rilievo | 2,89 | 3,17 | 3,14 | 2,86 |

Figura 1 - Effetto del contenuto di biochar nei substrati di crescita sulla biomassa secca nella coltura in vaso di *Euphorbia x lomi*.

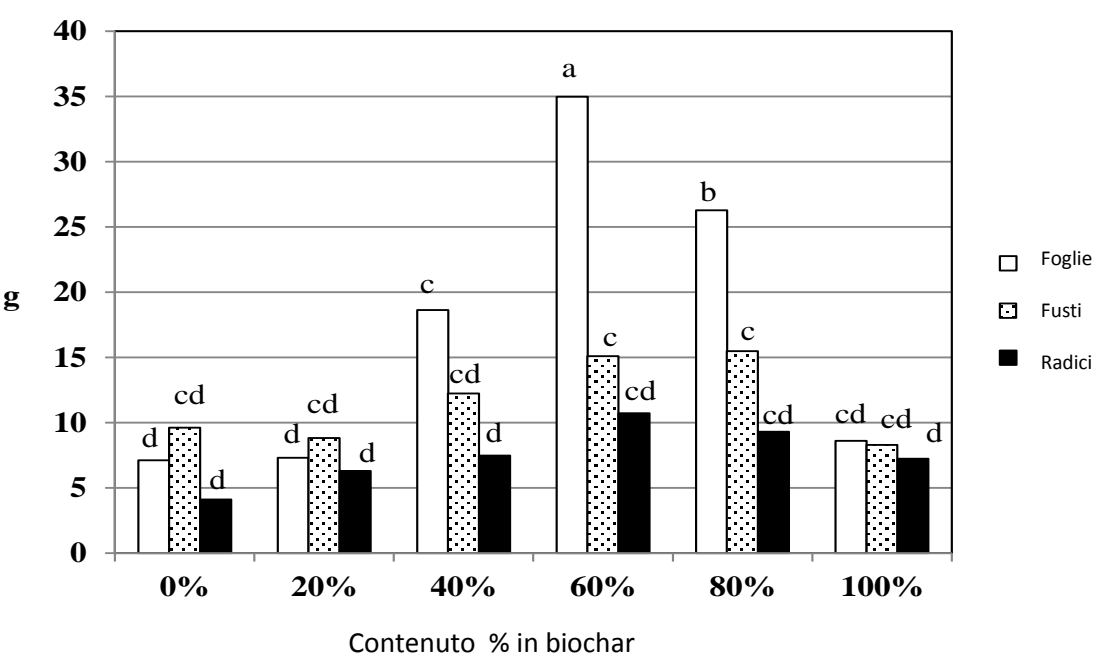


Figura 2 - Effetto del contenuto di biochar nei substrati di crescita sul tasso di crescita relativo (RGR) nella coltura in vaso di *Euphorbia x lomi*.

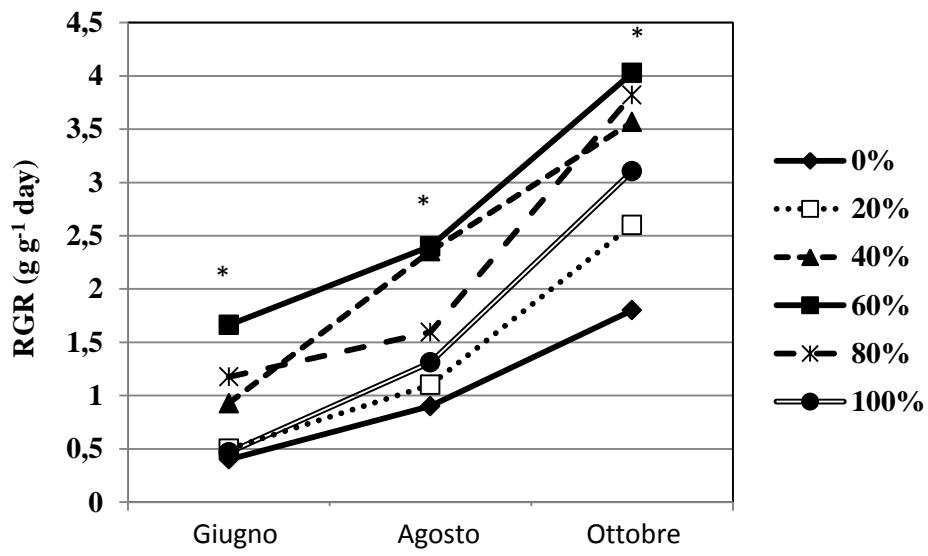


Figura 3 – Indice di biomassa calcolato sull'apparato fogliare

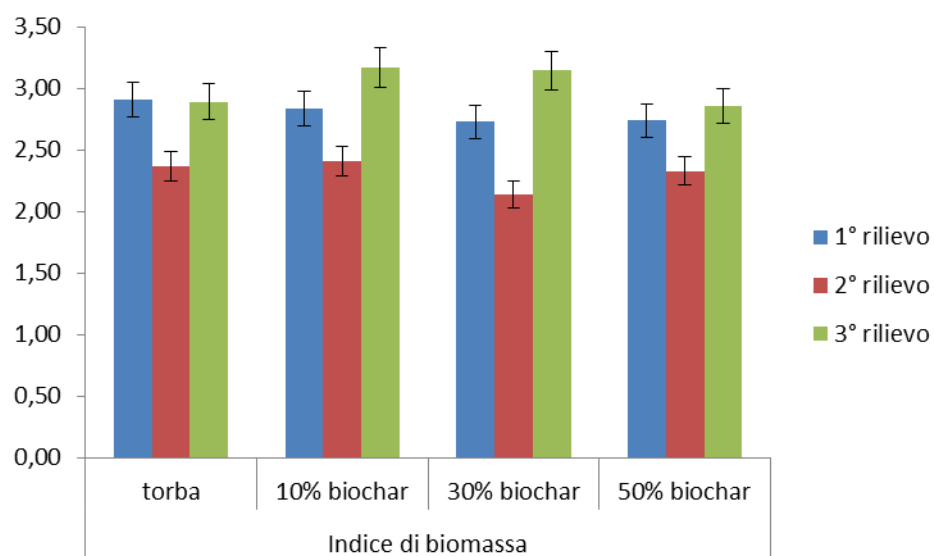


Figura 4 – Percentuali di N e C nelle foglie

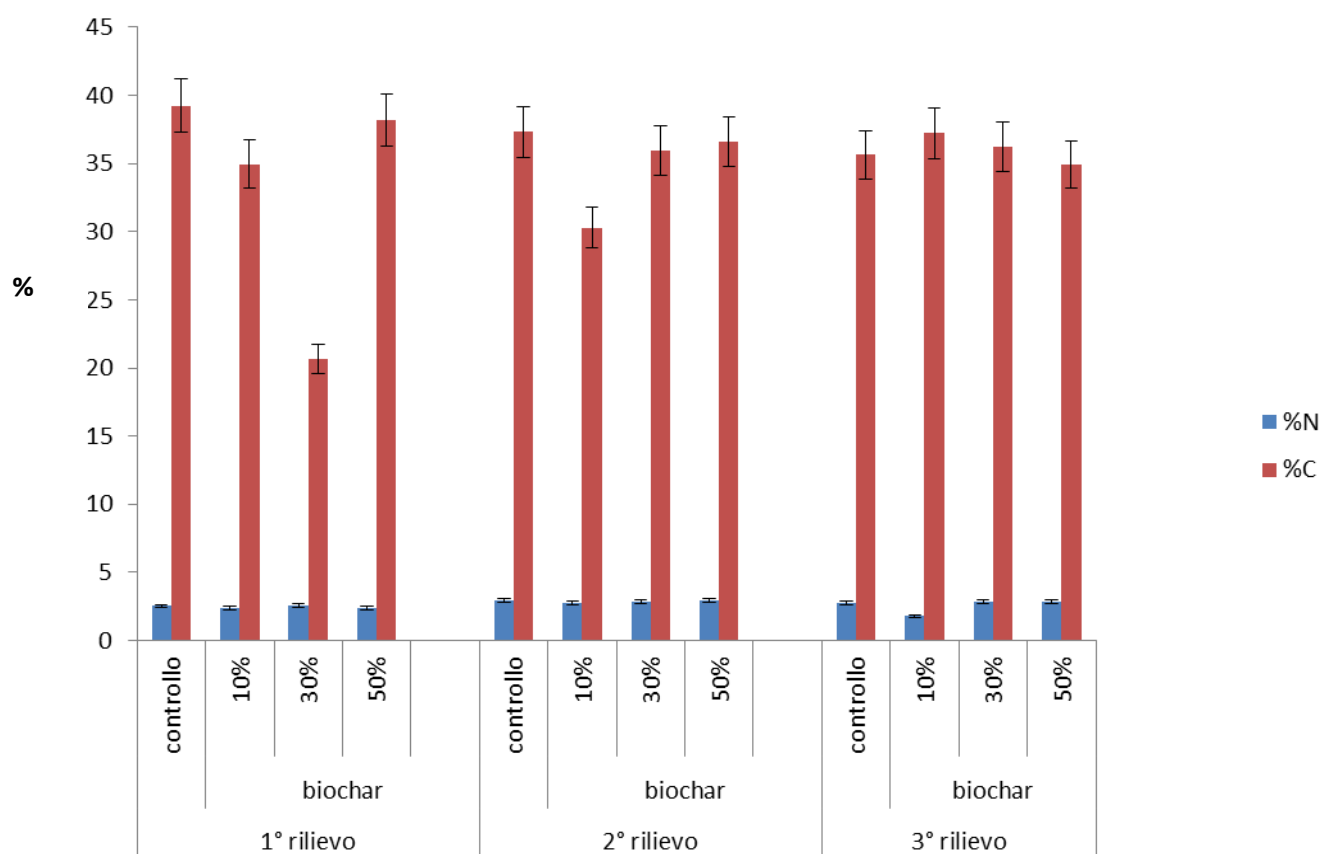


Figura 5 – Rapporto C/N calcolato sull'apparato fogliare

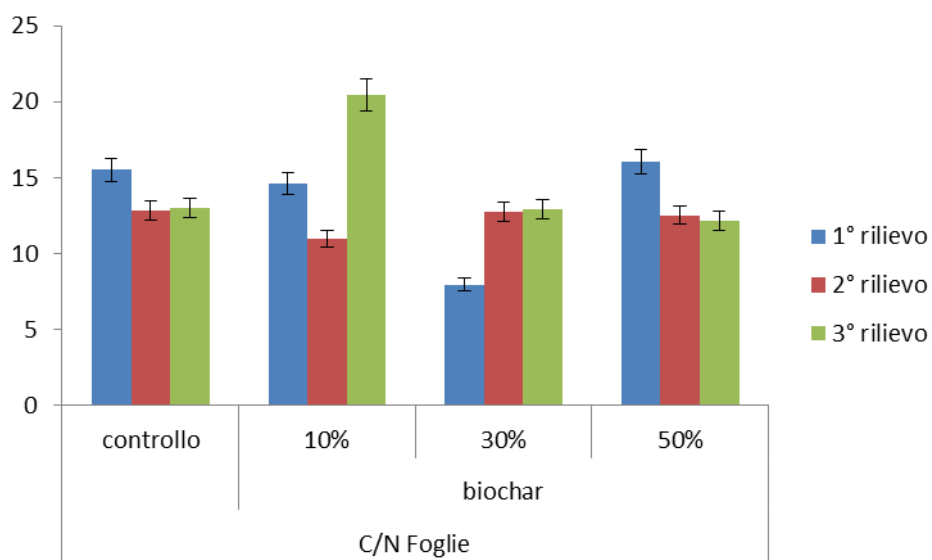


Figura 6 – Andamento del Ca nella coltura

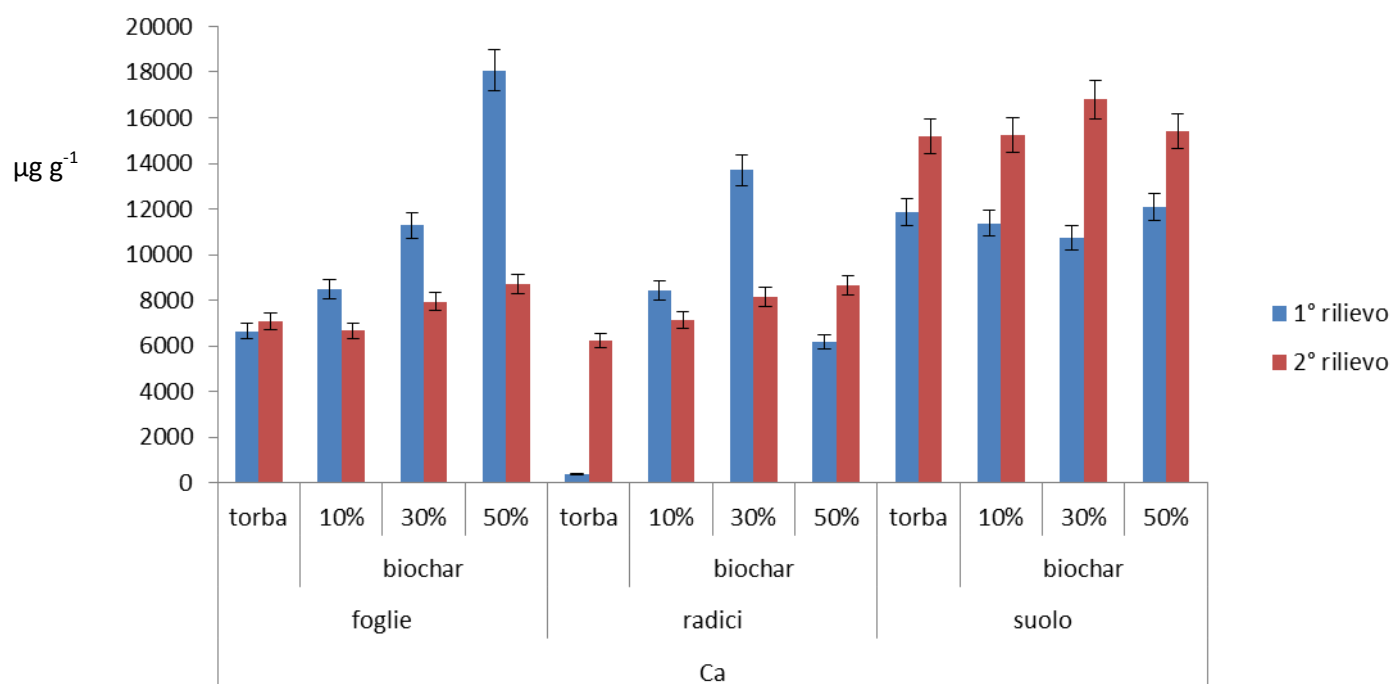


Figura 7 – Andamento del Cu nella coltura

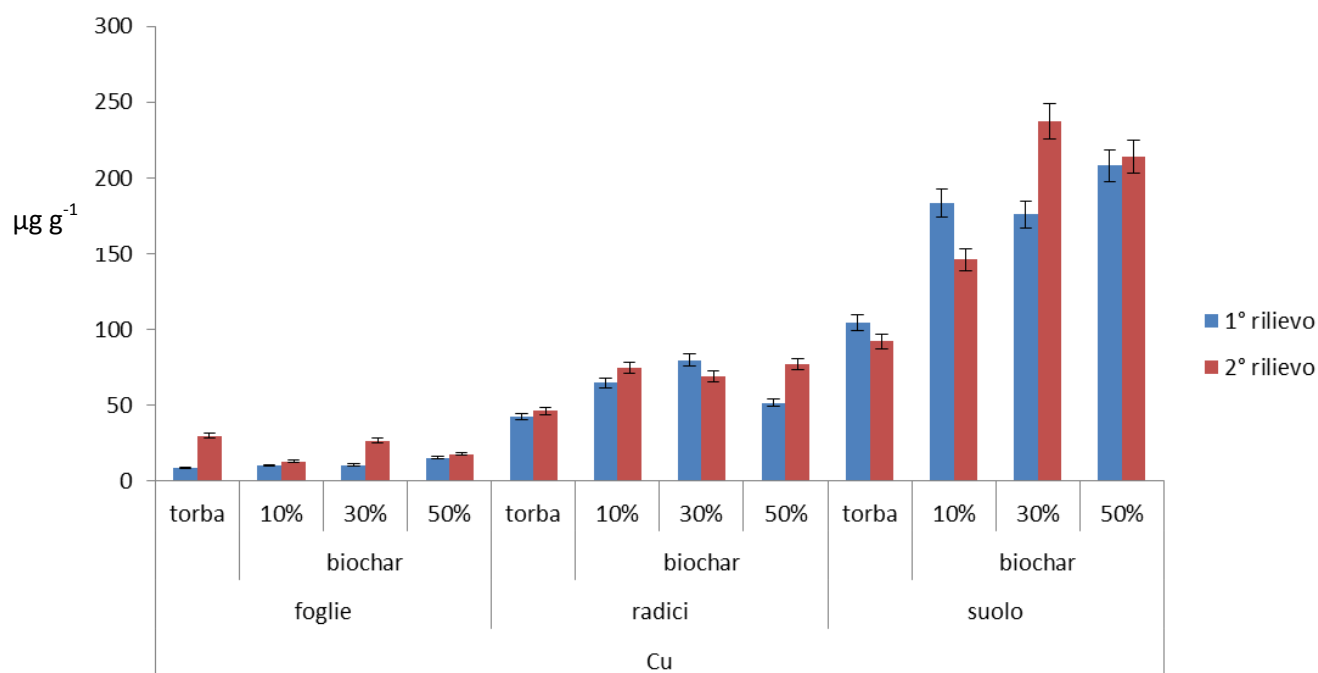


Figura 8 – Andamento del Fe nella coltura

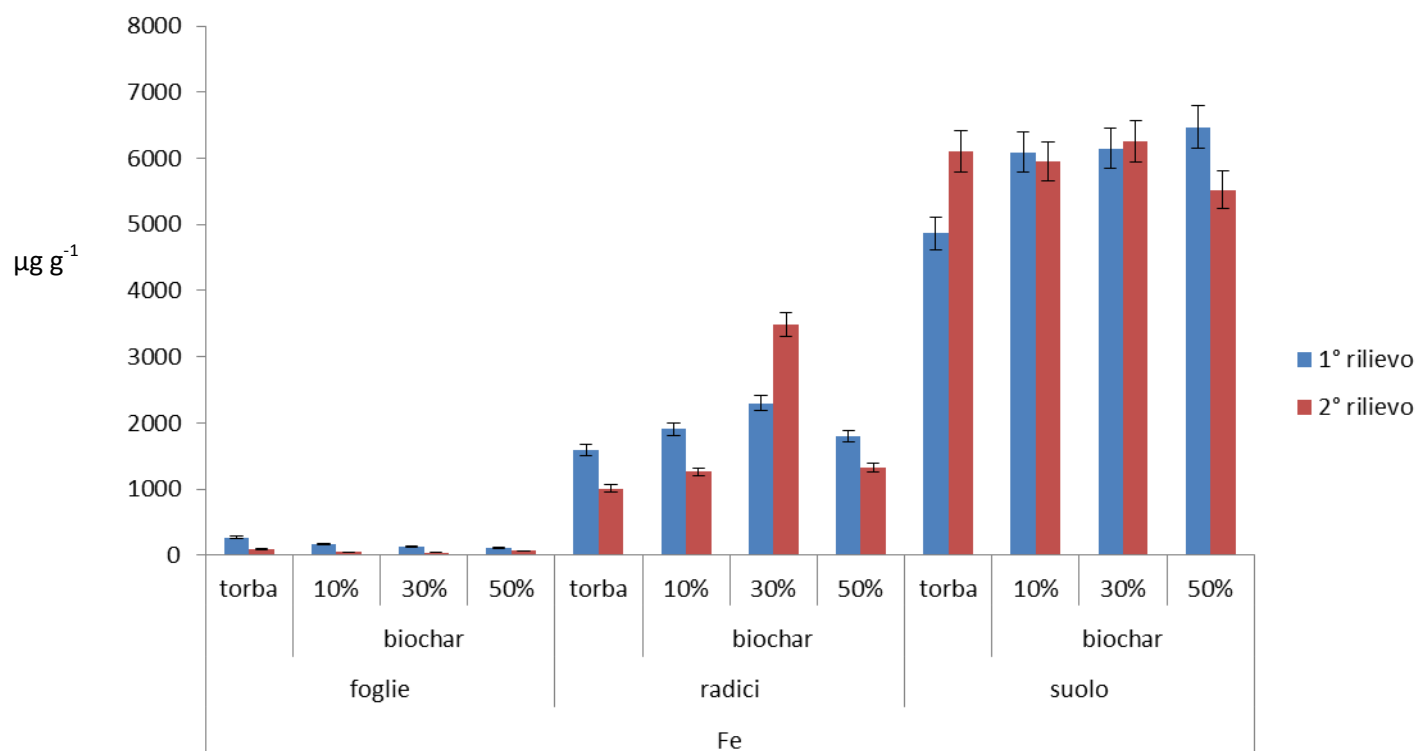


Figura 9 – Andamento del K nella coltura

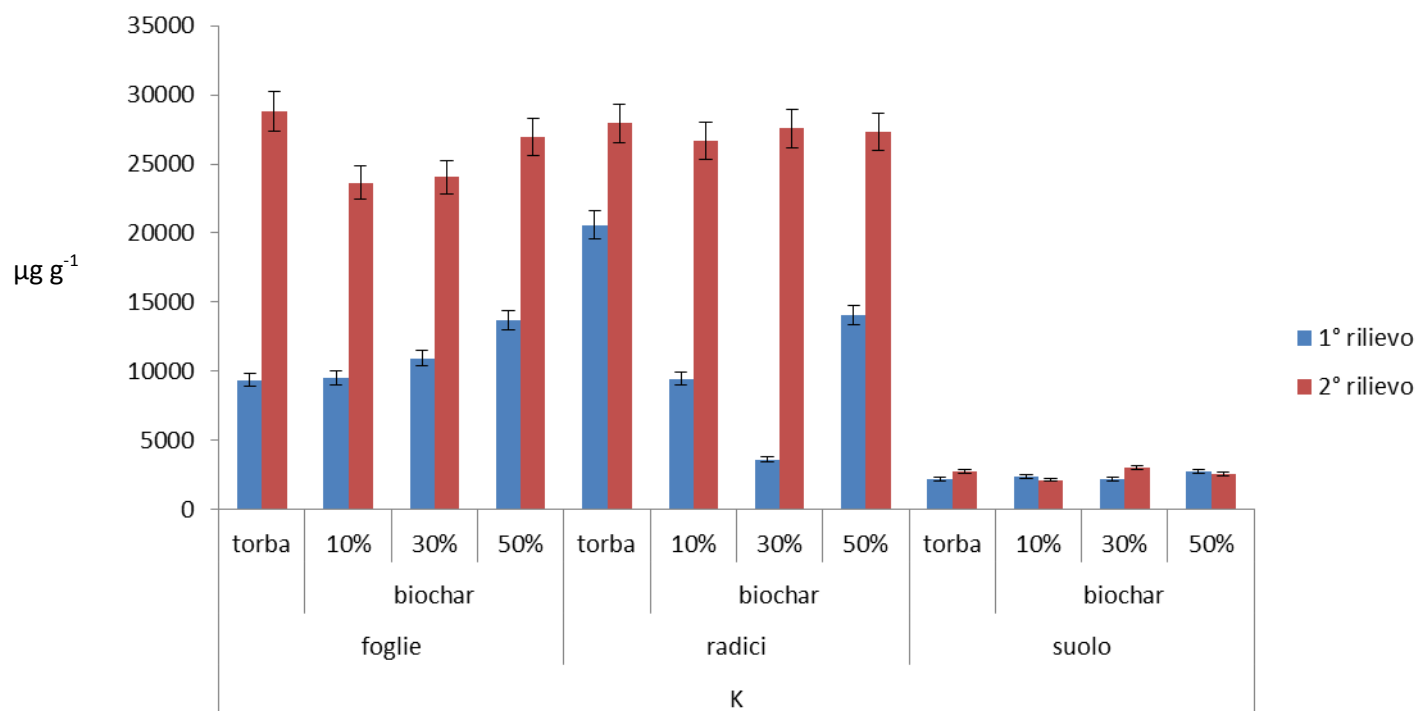


Figura 10 – Andamento del Mg nella coltura

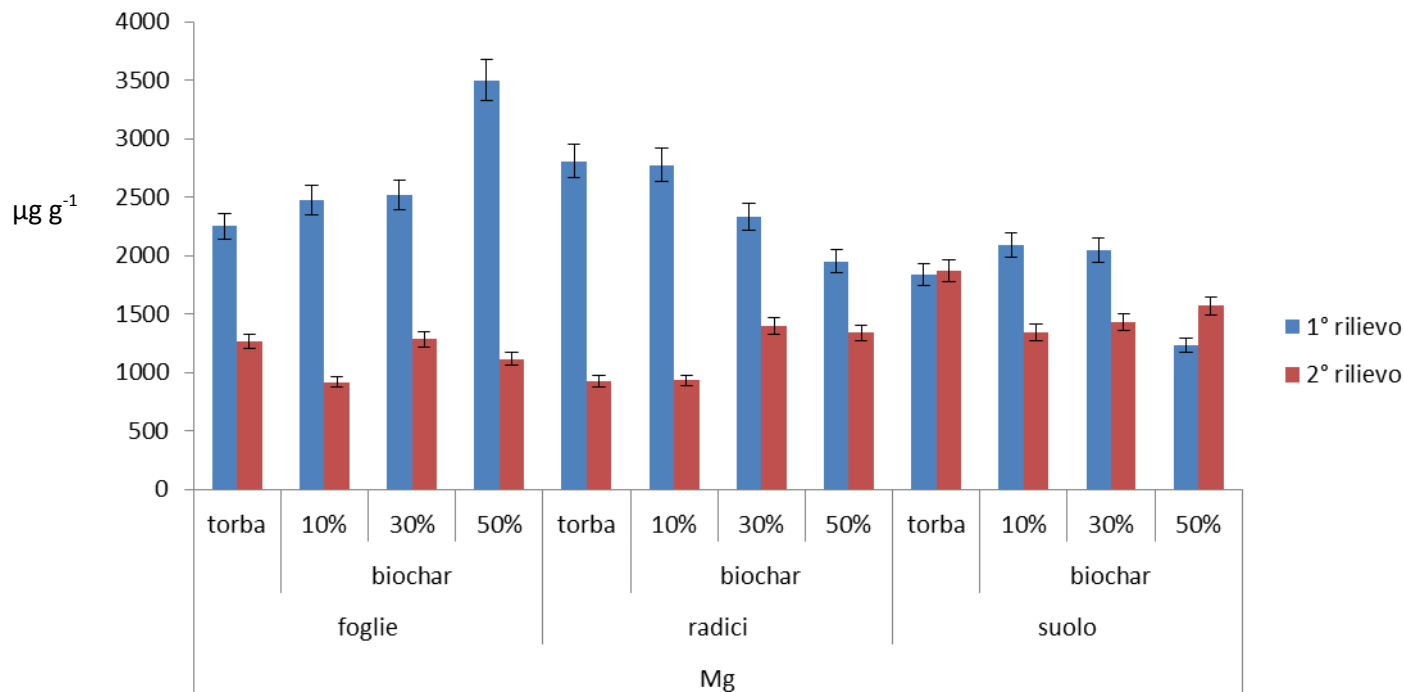


Figura 11 – Andamento del Mn nella coltura

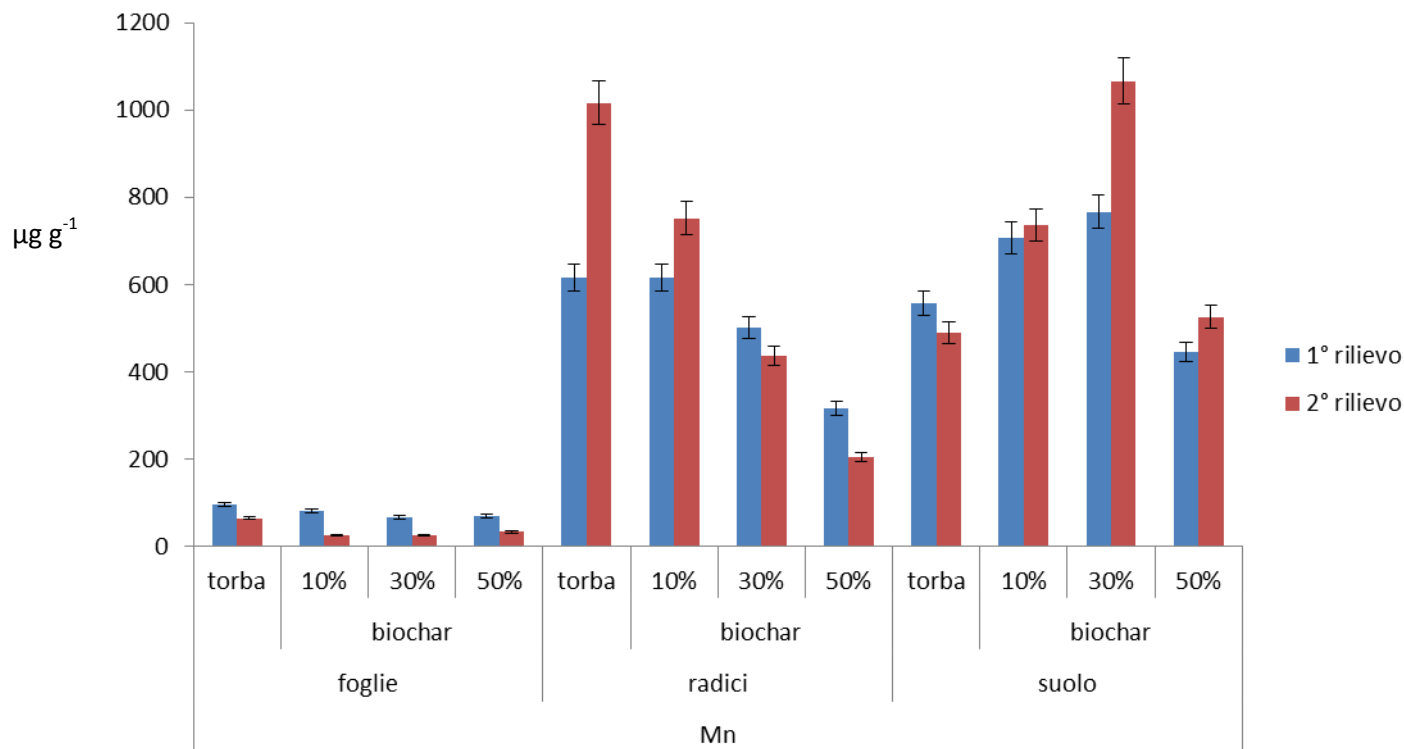


Figura 12 – Andamento del Na nella coltura

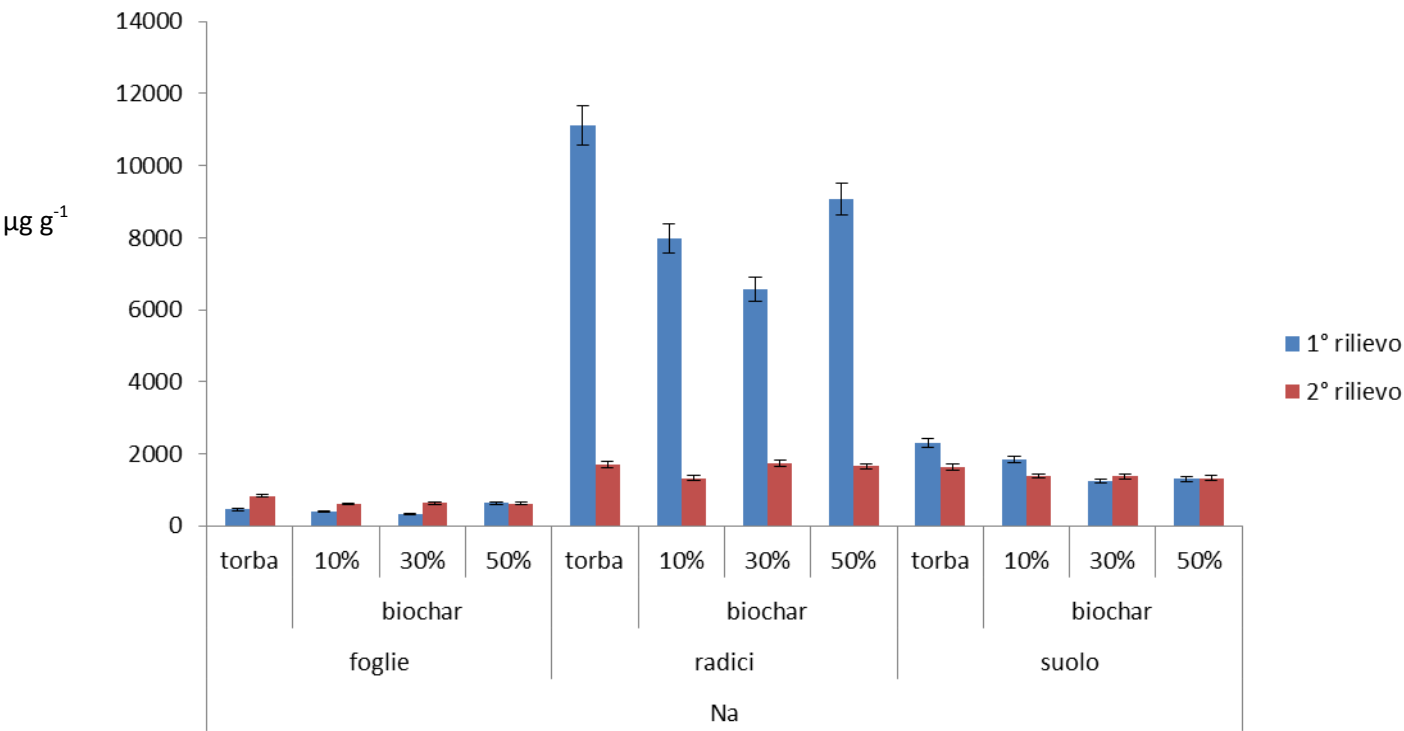


Figura 13 – Andamento dello Zn nella coltura

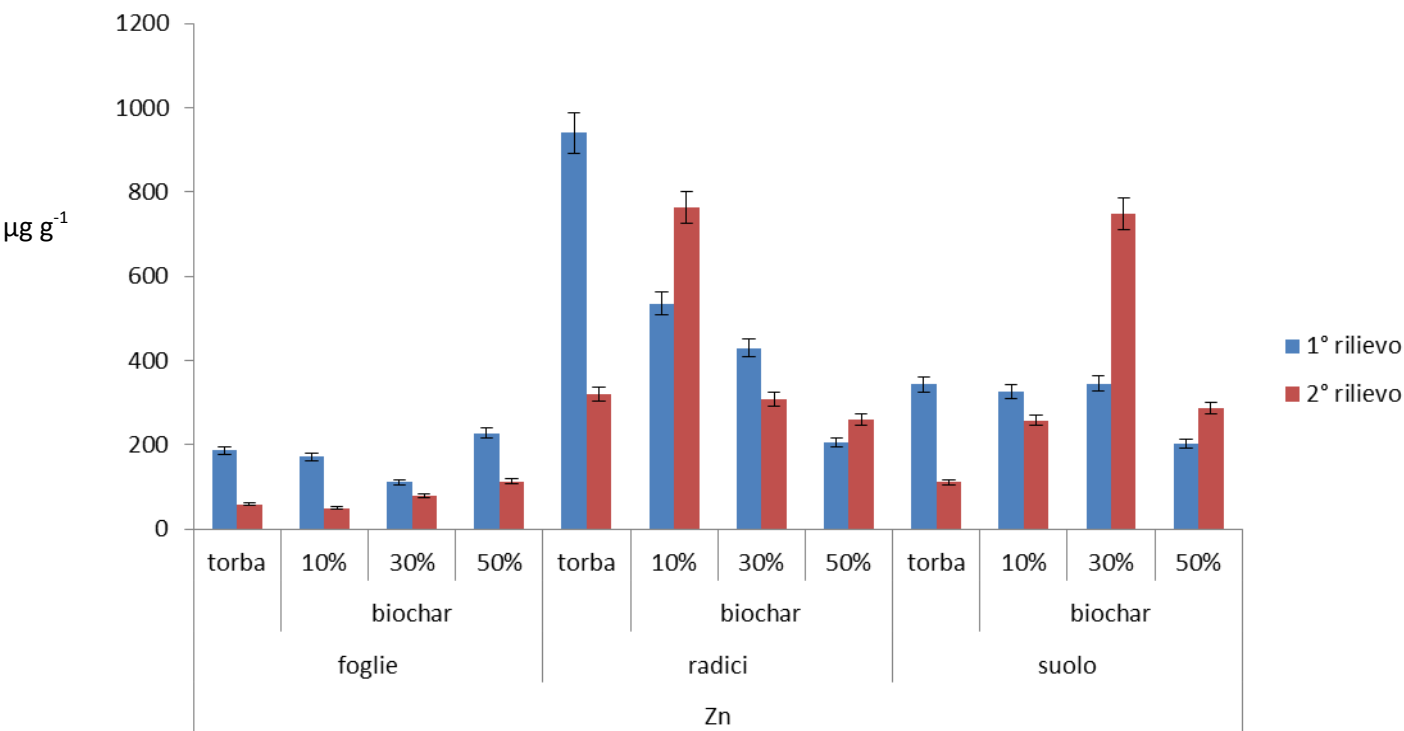


Figura 14 – Contenuto di P (mg P₂O₅/Kg) nei substrati di coltivazione

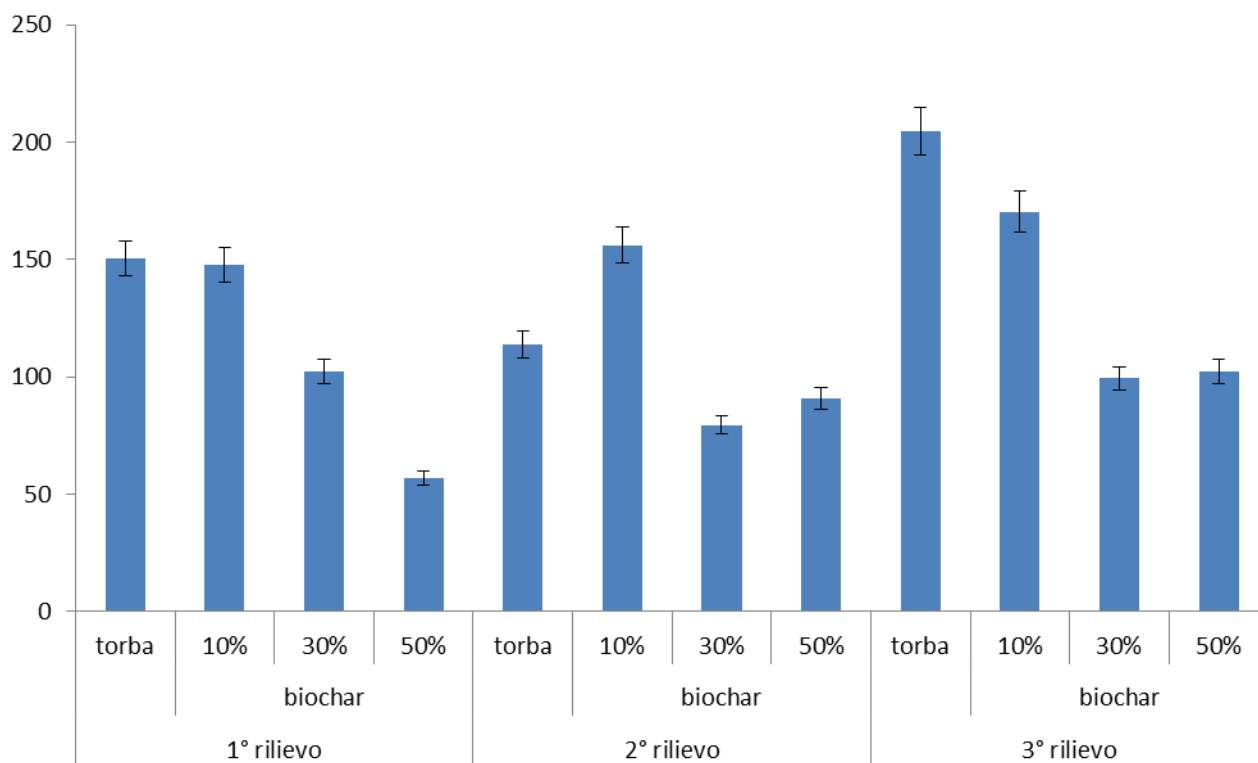


Figura 15 – Contenuto di C e N nei substrati di coltivazione

